ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, de membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur remplissant les fonctions de secrétaire :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. l'ingénieur, secrétaire de la commission des* ANNALES DES MINES, boulevard Saint-Michel, n° 60, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

1681 — PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME II.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49

1872

ANNALES

DES MINES.

ÉTUDES SUR LES HAUTS-FOURNEAUX

Par M. L. GRUNER, Professeur de métallurgie.

§ 1. *Transformation du régime des hauts-fourneaux.* — On se préoccupe beaucoup depuis quelques années, en Angleterre surtout, de deux modifications importantes apportées au régime ancien des hauts-fourneaux. On les *exhausse* et les *agrandit*, et l'on *chauffe* le vent jusqu'au rouge, en se servant des grands appareils en terre réfractaire de Cowper-Siemens et de Whitewell. On est arrivé, sous ce double rapport, à des chiffres que beaucoup de métallurgistes, M. Lowthian Bell, par exemple, trouvent exagérés, tandis que d'autres n'admettent, en quelque sorte, aucune limite, si ce n'est celle de la possibilité pratique. Ces divergences de vues se sont fait jour dans les réunions et dans les publications de l'*Iron and steel institute*, association qui renferme dans son sein les sidérurgistes anglais les plus connus, les Bessemer, Siemens, Bell, Whitworth, Menelaus, Williams, etc. Il vaut la peine d'examiner la question et d'étudier, à ce point de vue, les réactions chimiques et calorifiques, mises en jeu dans ces énormes appareils. J'utiliserai, à cet effet, la série de mémoires fort intéressants que M. Lowthian Bell vient de publier dans le journal de

l'*Iron and steel institute*, et les rapprocherai de recherches personnelles sur le même sujet, les unes depuis longtemps professées dans mon cours de métallurgie à l'École des mines de Paris, les autres récemment publiées dans le *Recueil des savants étrangers* et dans les *Annales de physique et de chimie* (*).

§ 2. *Agrandissement progressif des hauts-fourneaux.* — Les hauts-fourneaux au charbon de bois ont rarement, dans nos contrées, au delà de 10 à 12 mètres de hauteur sur 20 à 30 mètres cubes de volume intérieur. En Autriche, en Russie et en Suède, où les transports, par voie de flottage ou par traîneaux, permettent des accumulations plus grandes de combustibles, on est allé jusqu'à des hauteurs de 15 mètres et des volumes atteignant 50 à 60 mètres cubes. Dans les districts houillers, les hauts-fourneaux ont reçu, dès l'origine, des dimensions plus considérables, et pourtant les fourneaux ordinaires du Staffordshire ne mesurent encore que 70 à 75 mètres cubes sur 12 à 13 mètres de hauteur, et les plus grands ne dépassent guère 100 à 150 mètres cubes. Vers 1830, leur volume n'était même, en moyenne, que de 50 à 55 mètres cubes, et dans le pays de Galles d'environ 60 à 70 mètres cubes. Mais déjà, en 1860, nous avons constaté, M. Lan et moi (**), une tendance très-marquée vers un agrandissement progressif de ces appareils. En Écosse, on était arrivé de 90 à 200^{m3}, et, dans le pays de Galles, de 70 à 150^{m3}, avec quelques fourneaux exceptionnels de 200 à 230^{m3}. Ces agrandissements successifs avaient surtout pour but l'accroissement de la production, et nous constatâmes, en

(*) *Savants étrang.*, tome XXII, et *Annales de physique et de chimie*, numéro de mai 1872.

(**) *État présent de la métallurgie du fer en Angleterre*, page 140.

effet, que la production avait sensiblement grandi proportionnellement au volume intérieur.

Dans les grands comme dans les petits hauts-fourneaux anglais, on produisait en moyenne une tonne de fonte de moulage (n°s 1 et 2) par 7 à 8$^{m^3}$ de volume intérieur, une tonne de fonte de forge grise (n°s 3 et 4) par 6 à 7$^{m^3}$, et une tonne de fonte de forge truitée ou blanche (n°s 5 et 6) par 5 à 6$^{m^3}$.

Par la comparaison d'un grand nombre de hauts-fourneaux du continent, j'étais d'ailleurs arrivé depuis longtemps aux mêmes conclusions. Dans mon cours, j'indiquais ces chiffres comme des moyennes propres à fixer les dimensions des hauts-fourneaux.

En 1851 fut établi le premier haut-fourneau du Cleveland, près de Middlesborough. MM. Vaughan et Bolckow lui donnèrent 12^m,80 de hauteur sur 130$^{m^3}$ de volume intérieur.

En 1853, MM. Bell frères construisirent l'usine de Clarence-Works, et y établirent plusieurs fourneaux de 14^m,60 et 175$^{m^3}$.

De 1853 à 1860 on éleva, dans le même district un grand nombre d'autres hauts-fourneaux, mais aucun d'eux ne dépassa en hauteur 17^m,50, ni en volume 200$^{m^3}$; la plupart ne reçurent même que 15 à 16 mètres sur 150 à 170$^{m^3}$.

Par contre, à partir de 1861, se manifeste une tendance marquée vers un agrandissement prodigieux de ces appareils. Citons quelques chiffres :

En 1861, MM. Whitwell et compagnie bâtirent à Thornaby trois hauts-fourneaux de 18^m,30 sur 362$^{m^3}$.

En 1862, MM. Bolckow et Vaughan allèrent à 25 mètres avec un volume de 340$^{m^3}$.

En 1864, M. Sameulson donna à ses premiers hauts-fourneaux de Newport 21 mètres et 440$^{m^3}$; et M. Thomas Vaughan, à ses appareils de Southbank, 24^m,70 et 450$^{m^3}$.

En 1866, MM. Bolckow et Vaughan adoptèrent, dans leur usine de Cleveland, les types *élancés* de 29 mètres sur 430$^{m^3}$, tandis que MM. Hopkins, Gilkes et compagnie à Tees-Side, donnèrent la préférence aux fours plus *élargis* de 25 mètres de hauteur sur 566$^{m^3}$ de volume.

En 1867, on alla, à Norton, jusqu'à 26 mètres sur 736$^{m^3}$.

En 1868, MM. Bolckow et Vaughan élargirent leurs deux fourneaux de 1866, l'un jusqu'à 736$^{m^3}$, l'autre à 815$^{m^3}$, en conservant d'ailleurs, dans les deux cas, la hauteur primitive de 29 mètres.

En 1870, M. Cochrane éleva à Ormesby un fourneau monstre de 27^{m},50 et 1.165$^{m^3}$, tandis qu'à Ferry-Hill, à l'ouest de Middlesborough, on adopta, avec une hauteur plus grande encore, un volume un peu moindre, 31^{m},50 sur 935$^{m^3}$.

Enfin depuis lors, en 1871, M. Cochrane a donné, à son dernier fourneau, jusqu'à 1.218$^{m^3}$ pour la même hauteur de 27^{m},50.

Les profils intérieurs de la plupart de ces fourneaux sont reproduits sur la Pl. I, d'après la notice historique de M. J. *Gjers*, sur le développement graduel des hauts-fourneaux du Cleveland (*). On y constate les formes les plus variées, des profils *élancés* presque cylindriques, à côté de cuves singulièrement *trappues*, élargies au ventre, puis fortement rétrécies vers le haut. Ces formes, aussi bien que la hauteur, le volume total, le mode de chargement, etc., exercent, comme chacun sait, une certaine influence sur la marche des fourneaux. La production et la consommation varient avec ces éléments. Malheureusement la courte notice de M. J. Gjers ne renferme à ce sujet aucun détail, pas même l'indication de la production maximum; mais j'ai pu combler, en partie du moins, cette

(*) *Journal of the iron and steel institute*, numéro de novembre 1871.

regrettable lacune par les données que fournissent les mémoires de M. L. Bell et le compte rendu des vives discussions que provoqua la lecture de ces mémoires au sein des réunions de l'*Iron and steel institute.*

Ce qui frappe tout d'abord, c'est que, de l'aveu de tout le monde, la *production de ces grands fourneaux ne croît pas proportionnellement à leur volume.*

Ainsi à Clarence-Works, chez M. Bell lui-même, on trouve, pour quatre types de dimensions très-différentes, donnant des fontes de forge nos 3 et 4, les productions suivantes :

ÉLÉMENTS DES FOURNEAUX.	Ancien four de 1853.	Haut-fourneau de 1866.	Haut-fourneau de 1868.	Haut-fourneau de 1870.
Volume total	m³ 170	m³ 330	m³ 440	m³ 700
Hauteur	mètres. 14,60	mètres. 24,4	mètres. 24,4	mètres. 24,4
Production par vingt-quatre heures	tonnes. 30	tonnes. 38,6	tonnes. 50	tonnes. 60
Consommation en coke par tonne de fonte	kilog. 1.450	kilog. 1.125	kilog. 1.125	kilog. 1.125
Volume intérieur par tonne produite dans les vingt-quatre heures	m³ 5,6	m³ 8,6	m³ 8,8	m³ 11,7

D'autre part, les nombreux fourneaux de MM. Bolckow et Vanghan et ceux de Ferry-Hill, alimentés par les mêmes minerais et le même coke que ceux de Clarence-Works, le vent étant d'ailleurs chauffé à la même température de 400 à 450 degrés C. et les fontes appartenant aussi aux nos 3 et 4, donnent les résultats suivants :

neaux ne produisent pas plus de fonte, et ne consomment pas moins de coke que les appareils de dimensions moyennes, il semble réellement peu rationnel d'accoître le capital d'établissement par la création de ces fourneaux *monstres*. C'est, en effet, ce que l'on paraît avoir compris chez nos voisins. Une certaine réaction s'est déjà manifestée en Angleterre parmi les maîtres de forges, au moins dans les districts où les combustibles et le minerai sont plus ou moins sujets à se briser et se comprimer sous leur propre poids. Ainsi, à Askam-in-Furness, on est revenu de la hauteur de 75 pieds à celle de 61. A l'usine de Consett, on a ramené le fourneau de 70 à 55 pieds. A Workington et à Barrow, situées, comme Askam, dans le district des hématites riches du Cumberland, on a également réduit les cuves momentanément exhaussées. Dans la première de ces usines on est redescendu de 70 pieds à 55; dans la seconde de 75 à 61 (*). Enfin, au Creuzot, on vient aussi de décapiter un haut-fourneau que l'on avait surélevé jusqu'à 25 mètres.

Ces exemples suffisent pour montrer qu'une trop grande hauteur peut offrir des inconvénients très-réels. Mais, si nous voulons apprécier à sa juste valeur l'influence de ces dimensions exagérées, il faut avant tout se rendre un compte exact des *réactions chimiques et calorifiques* sur lesquelles repose la marche des hauts-fourneaux.

§ 3. *Réactions principales dans les hauts-fourneaux.* Dans tous les fours à cuve, deux courants inverses sont en présence et réagissent l'un sur l'autre : un courant *gazeux ascendant*, dont la température, d'abord fort élevée, décroît graduellement jusqu'à sa sortie par le gueulard du four; un courant *solide descendant*, formé de minerais, de

(*) *Journal of iron and steel institute.* Numéro de novembre 1871, page 409.

combustibles et de fondants, dont la température va, par contre, sans cesse croissant sous l'influence du courant gazeux inverse.

De ces deux courants, l'un est lent, l'autre fort rapide. Les matières solides descendent rarement avec une vitesse moyenne supérieure à un demi-mètre par heure, tandis que les gaz parcourent le même espace en moins d'une seconde. De plus, la masse d'air injecté dans un haut-fourneau est généralement supérieure aux matières solides chargées au gueulard dans le même temps ; et le poids des gaz qui quittent le fourneau est souvent plus que double de celui des produits fondus (fonte et laitiers), s'écoulant par les orifices inférieurs.

L'air, projeté par les machines soufflantes dans le bas des hauts-fourneaux, se transforme presque immédiatement en oxyde de carbone (*), puis ce gaz, dans son parcours au travers de la cuve, réduit le minerai plus ou moins directement, c'est-à-dire, *avec* ou *sans* le concours du charbon solide.

La réduction de l'oxyde de fer, dans le haut-fourneau, peut se faire, et se fait réellement, selon le point du four que l'on considère, suivant trois modes différents. En général l'oxyde de carbone se transforme simplement en acide carbonique qui échappe tel quel du haut-fourneau sans autre réaction. Ailleurs l'acide carbonique ainsi produit reforme

---

(*) On sait, par les expériences de MM. H. Deville et Cailletet, qu'auprès des tuyères, par le fait de la *dissociation*, il y a mélange d'air non brûlé et de carbone très-divisé; mais, plus haut, la température s'abaisse assez pour déterminer la combinaison définitive du carbone et de l'oxygène, sous forme d'oxyde de carbone. — Quant à la question de savoir s'il se produit, au *premier instant*, de l'acide carbonique ou de l'oxyde de carbone, elle est impossible à trancher, et d'ailleurs à peu près oiseuse. On doit observer cependant que lorsque du carbone brûle sur une grille, il ne se produit réellement de l'oxyde de carbone que là où la couche combustible est suffisamment épaisse ; il semble donc bien se produire d'abord de l'acide carbonique.

partiellement de l'oxyde de carbone, en brûlant le carbone solide, ce qui conduit en définitive, sous le rapport chimique et calorifique, au même résultat que si le carbone solide agissait directement sur l'oxygène du minerai, pour donner, en dernière analyse, soit de l'acide carbonique, soit de l'oxyde de carbone.

Ces trois modes de réduction peuvent être représentés par les formules suivantes :

$$1°.\quad 3CO + Fe^2O^3 = 3CO^2 + 2Fe\,;$$
$$2°.\quad 3C + 2Fe^2O^3 = 3CO^2 + 4Fe\,;$$
$$3°.\quad 3C + Fe^2O^3 = 3CO + 2Fe.$$

Toutefois, il convient d'observer immédiatement que les deux premiers modes de réduction ne seraient pas au fond réalisables en adoptant les proportions données par les formules. Dans ces conditions, le fer métallique serait partiellement réoxydé par l'acide carbonique. On sait, par les expériences de M. Debray (confirmées depuis par M. Lowthian Bell), qu'en présence de volumes égaux de CO et de CO^2, le peroxyde et le fer métallique sont l'un et l'autre ramenés à l'état de protoxyde. Mais, si ces deux premiers modes de réduction sont pratiquement impossibles pris *isolément*, ils concourent en général, avec le troisième mode, au résultat final, et en réalité les gaz, pris au gueulard, se composent toujours d'un mélange variable de CO et de CO^2. Selon que l'un ou l'autre des modes de réduction a une part plus large dans le résultat final, on trouve au gueulard des proportions plus ou moins élevées d'acide carbonique ou d'oxyde de carbone. Or, il est facile de montrer que ces trois modes de réduction exigent des quantités de chaleur très-différentes, et qu'à ce point de vue, c'est-à-dire en réalité sous le rapport du combustible consommé, il n'est pas indifférent que l'une ou l'autre de ces réactions prédomine dans les hauts-fourneaux.

§ 4. ***Quantités de chaleur absorbées et dégagées dans les hauts-fourneaux.*** — Cherchons, par kilogramme d'oxygène enlevé au minerai de fer, les quantités de chaleur *absorbées* et *dégagées* dans les trois modes de réduction que je viens de mentionner.

La chaleur *absorbée* est la même dans les trois cas; c'est la chaleur que produirait un kilogramme d'oxygène en s'unissant au fer métallique pour reformer du peroxyde. Désignons pour le moment ce nombre de calories par la lettre C.

Dans le premier cas, la chaleur dégagée résulte de la transformation de CO en CO^2. Or, chaque kilogramme d'oxyde de carbone produit 2403 calories en prenant à l'oxyde de fer $\frac{4}{7}$ kil. d'oxygène ; d'où il suit que, par kilogramme d'oxygène, la transformation de CO en CO^2 est accompagnée d'un dégagement de chaleur de $\frac{7}{4} \times 2403 = 4205$ calories. Ainsi la différence (C — 4205) représente la chaleur qu'exige finalement, par chaque kilogramme d'oxygène enlevé, la réduction du peroxyde de fer, sous l'action de l'oxyde de carbone passant à l'état d'acide carbonique.

Dans le second cas, le carbone solide se transforme en CO^2 par l'oxygène du minerai. Dans ces conditions, le kilogramme de carbone développe 8080 calories en s'emparant de $\frac{8}{3}$ kil. d'oxygène, ce qui donne, par kilogramme d'oxygène, $\frac{3}{8} \times 8080 = 3030$ cal. Par suite, la différence (C — 3030) est la chaleur nécessaire à la réduction, lorsqu'elle s'opère par le charbon solide donnant de l'acide carbonique.

Enfin, dans le troisième mode de réduction, les choses se passent comme si l'oxygène du minerai produisait directement de l'oxyde de carbone avec le carbone solide. Or, un kilogramme de carbone développe 2473 calo-

ries (*) lorsqu'il se transforme en oxyde de carbone, et comme il s'empare alors de $\frac{4}{3}$ kil. d'oxygène, la chaleur développée par chaque kilogramme d'oxygène est de $\frac{3}{4} \times 2473 = 1855$ calories. Par suite, la différence (C — 1855) représente le nombre de calories qu'exige la réduction lorsqu'elle se fait par le carbone solide donnant de l'oxyde de carbone.

Il faut donc, en définitive, pour enlever au peroxyde de fer un kilogramme d'oxygène, les quantités de chaleur données par les expressions :

C — 4205 cal.
C — 3030
C — 1855

La valeur de C n'est pas rigoureusement connue ; elle peut même varier avec la nature physique du peroxyde, mais elle paraît en tous cas comprise, comme nous le dirons plus bas (§ 11), entre 4000 et 4500 calories, en sorte que le premier mode de réduction se fait à peu près sans absorption de chaleur. De plus, et quelle que soit d'ailleurs la valeur de C, on voit que ce mode de réduction est de beaucoup le plus favorable ; par contre, le dernier est fort onéreux. Il importe donc que la réduction du minerai de

(*) Ce nombre, auquel nous aurons souvent recours, se détermine par les considérations suivantes : — La chaleur produite par kilog. de carbone, donnant de l'acide carbonique, est évidemment égale à la somme des chaleurs partielles résultant de la transformation successive de C en CO, puis de CO en CO^2. Or, 1 kilog. de carbone donne $\frac{7}{3}$ kilog. d'oxyde de carbone, et comme chaque kilog. de CO dégage, en brûlant, 2403 cal., nous aurons pour les $\frac{7}{3}$ kilog. $\frac{7}{3} \times 2403 = 5607$ cal., ce qui laisse pour la transformation de C en CO, $8080 - 5607 = 2473$ cal.

fer, dans les hauts-fourneaux, se fasse, autant que possible, uniquement suivant le premier mode, c'est à-dire par l'oxyde de carbone donnant de l'acide carbonique; en d'autres termes, *sans consommation de charbon solide.* C'est ce que j'appellerai désormais la marche *idéale* des hauts-fourneaux.

Là où ce mode de traitement se trouvera réalisé, les réactions seront des plus simples. L'oxyde de carbone, produit auprès des tuyères, réduira le minerai de fer en le transformant en acide carbonique, et celui-ci quittera tel quel le fourneau sans réagir sur le charbon solide, en sorte que, dans ce cas, tout le charbon chargé au gueulard traverserait le fourneau sans autre altération qu'un échauffement graduel, et ce carbone serait finalement brûlé en oxyde de carbone sous la seule action du vent des tuyères.

Pour réaliser cette marche *idéale*, ou du moins s'en rapprocher le plus possible, il faut que la réduction se fasse dans une région du fourneau dont la température soit relativement faible, sinon l'acide carbonique, ainsi engendré, reformera constamment de l'oxyde de carbone aux dépens du charbon solide. Il faut donc que les fourneaux soient assez vastes, ou assez élevés, pour que toute la région supérieure soit à cette température relativement basse, mais il faut aussi que la marche des gaz soit assez rapide pour ne laisser l'acide carbonique qu'un temps fort court au contact du charbon solide. Il est évident d'ailleurs que les minerais faciles à réduire (les mines *douces* poreuses) réaliseront plus facilement la marche idéale que les minerais compactes et siliceux. Mais en général, quel que soit le minerai, la réduction ne s'achèvera complétement que dans les régions chaudes, où l'acide carbonique reproduira sans cesse de l'oxyde de carbone, et cela arrivera surtout pour les oxydes autres que l'oxyde de fer, provenant des gangues, tels que la silice, la chaux, la magnésie et l'oxyde de manganèse. La réduction de ces oxydes exigera toujours le concours direct ou indirect du charbon solide.

§ 5. *La marche des fourneaux varie avec le rapport* $\frac{CO^2}{CO}$ *dans les gaz.* — Il résulte de ce qui précède que les quantités relatives d'acide carbonique et d'oxyde de carbone dans les gaz du gueulard dépendent essentiellement, pour un lit de fusion donné, du mode de réduction ; par suite, le rapport plus ou moins élevé entre les deux gaz permettra d'apprécier le degré de perfection de la marche d'un haut-fourneau.

Un exemple ou deux vont suffire pour le prouver.

Nous verrons bientôt que, dans une même usine et avec les mêmes minerais, produisant la même fonte, la température du vent étant d'ailleurs la même, on peut, selon le profil et les dimensions des fourneaux, trouver dans les gaz du gueulard les rapports que voici :

0.3 du carbone total, sous forme de CO^2 (*)
et 0.7 . . . . de CO
ce qui donne, pour le rapport de $\frac{CO^2}{CO}$, le nombre 0,673,

ou bien, dans le cas d'une marche moins économique,

0.2 du carbone total, sous forme de CO^2
et 0.8 . . . . de CO
ce qui donne, pour $\frac{CO^2}{CO}$, la fraction 0,392.

Eh bien ! calculons, dans les deux cas, la chaleur produite.

Dans le premier cas, on trouve :

$$0^k.3 \times 8080 + 0^k.7 \times 2473 = 4155 \text{ calories},$$

dans le second,

$$0^k,2 \times 8080 + 0^k,8 \times 2473 = 3594$$

Différence. . . . . 561 calories.

(*) Je fais ici abstraction de l'acide carbonique de la castine. Je ne m'occupe que des produits gazeux du charbon brûlé.

Or il faut, pour obtenir les mêmes produits, la même somme de chaleur ; par suite, chaque kilogramme de carbone, brûlé dans le premier four, devra être remplacé, dans le second, par $1^k + \frac{561}{3594} = 1^k,155$; ce qui correspond à un accroissement de consommation de 15 à 16 p. 100 par le seul fait de la moindre production de l'acide carbonique, ou de l'action plus énergique que ce gaz a exercée sur le charbon solide, dans les parties chaudes du four.

Comparons encore une bonne marche à la marche *idéale.*

Considérons comme *bonne* marche, celle qui correspond au rapport ci-dessus admis, de $\frac{CO^2}{CO} = 0,673$.

C'est, en effet, le cas des meilleurs hauts-fourneaux du Cleveland, lorsqu'on tient compte tout à la fois des gaz provenant du coke et de ceux que fournit la castine.

Supposons, ce qui est aussi le cas des usines du Cleveland, que, par chaque kilogramme de fonte, la consommation réelle soit de 1 kilogramme de carbone pur et de $0^k,60$ de castine. Calculons d'abord, d'après ces données, le poids de carbone contenu dans les gaz, par chaque kilogramme de fonte produite.

Le coke cède $0^k,03$ de carbone au fer.

D'autre part, les $0^k,60$ de calcaire renferment $0^k,60 \times 0,12 = 0^k,072$ de carbone.

Par suite, les gaz contiendront, par kilogramme de fonte produite :

	$0^k.970$	de carbone provenant du coke
et	$0^k.072$	. . . . du calcaire
soit en tout	$1^k.042$	

Or, comme le rapport ci-dessus admis de $\frac{CO^2}{CO} = 0,673$ correspond à 0,3 de carbone à l'état de CO^2, pour 0,7 de CO, on aura, dans les gaz du gueulard :

$$0.3 \times 1^k,042 = 0^k,3126 \text{ de carbone à l'état de } CO^2$$

et $$0.7 \times 1^k,042 = \underline{0^k,7294} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ de } CO$$

$$1^k,0420$$

Mais, sur les $0^k,3126$ de carbone contenu dans l'acide carbonique, le calcaire en fournit $0^k.072$; il en reste donc, comme provenant du coke,

$$0^k,3126 - 0^k,072 = 0^k,2406,$$

ce qui donne enfin, comme chaleur totale produite par combustion, par chaque kilogramme de fonte sortant du haut-fourneau :

$$0,2406 \times 8080 = 1944 \text{ calories}$$
$$0,7294 \times 2473 = \underline{1804}$$
$$\text{Total} \ldots\ldots\ldots \ 3748 \text{ calories.}$$

Cette même somme de chaleur devra être engendrée dans la marche *idéale*, en supposant d'ailleurs, pour plus de simplicité, que, dans les deux cas, le vent chaud apporte un égal nombre de calories et que les gaz emportent aussi la même dose de chaleur sensible.

La marche idéale suppose que la réduction de l'oxyde de fer ait lieu uniquement par l'oxyde de carbone, sans intervention du charbon solide.

Or, il est facile de calculer le poids d'oxyde de carbone transformé en CO^2 par la réduction du minerai, du moins en ne tenant compte que de l'oxyde de fer proprement dit. Par kilogramme de fonte on a, dans l'oxyde de fer, $0^k,97$ de fer et $0^k,97 \times \frac{3}{7}$ d'oxygène; et cet oxygène transforme en CO^2 un poids de CO contenant une quantité de carbone égale aux trois quarts de son poids d'oxygène,

soit $$\frac{3}{4} \times \frac{3}{7} \times 0^k,97 = 0^k,312.$$

La chaleur produite par ce carbone, dans sa transformation successive en oxyde de carbone auprès de la tuyère, et en acide carbonique dans la zone de réduction, est de

$$0^k,312 \times 8080 = 2521 \text{ calories.}$$

Par suite, l'oxyde de carbone restant aura à fournir 1227

Total égal. . . . . 3748 calories.

Or, ces 1227 calories exigeront $\frac{1227}{2473} = 0^k,496$ de carbone qui devra être brûlé auprès de la tuyère. Ce qui donne enfin, comme consommation totale:

$0^k,030 + 0^k,312 + 0^k,496 = 0^k,838$ au lieu de 1 kilog.
soit, dans le cas de la marche idéale, une économie de. . . $0^k,162$ par kilog. de fonte produite.

$1^k,000$

Constatons enfin que les quantités relatives d'oxyde de carbone et d'acide carbonique seront, dans le cas de la marche *idéale*, les suivantes:

$0^k,312 + 0^k,072$ (provenant du calcaire) $= 0^k,384$ de carbone dans CO^2
et. . . . . $0^k,496$ de carbone dans CO

Soit carbone total dans les gaz. . . $0^k,880$

d'où $CO^2 = \frac{11}{3} \times 0,384 = 1^k,408$

et $CO = \frac{7}{3} \times 0,496 = 1^k,157$

et, par suite, $\frac{CO^2}{CO} = 1,217.$

§ 6. *Le rapport* $\frac{CO^2}{CO}$ *est la* MESURE *ou l'*INDICE *de la marche des hauts-fourneaux.* — Je viens de montrer, par deu exemples, que le rapport de $\frac{CO^2}{CO}$, dans les gaz du gueulard, peut varier entre des limites fort étendues.

Dans les usines modernes du Cleveland, il est en général compris entre 0,50 et 0,70 en cas de bonne marche ; il est de 0,350 à 0,400 seulement, lorsque le four est dans de mauvaises conditions ; enfin il atteindrait 1,217, si l'on pouvait réaliser la marche *idéale*.

On voit donc que ce rapport est comme la *mesure* ou l'*indice* du degré de perfection de la marche du fourneau. A la vérité, d'un district à l'autre, ce rapport variera selon la richesse et la qualité du minerai, la nature et la pureté du combustible, la proportion de castine employée, le numéro de la fonte produite, etc., etc. Mais, dans une usine, ou dans un district déterminé, ce rapport s'abaissera ou s'élèvera, s'éloignera ou se rapprochera du chiffre idéal dans la mesure de la marche du fourneau. Il me paraît donc fort important de pouvoir déterminer ce rapport d'une façon exacte, et cela par des essais faciles à multiplier. On a vu d'ailleurs, par les exemples que je viens de citer, que lorsque ce rapport est connu on peut aisément calculer les quantités absolues des deux gaz, et, par suite aussi, la somme de chaleur produite par combustion dans les hauts-fourneaux.

Il me reste à montrer que la détermination directe de ce rapport permet non-seulement de fixer, d'une façon *rigoureuse*, les quantités absolues d'oxyde de carbone et d'acide carbonique, mais encore, d'*une façon fort approximative*, les poids du vent et des gaz, et la composition complète de ces derniers.

§ 7. *Poids et composition des gaz du gueulard.* La marche ordinaire, ou *normale*, du haut-fourneau fait connaître, par kilogramme de fonte produite, les poids de carbone brûlé et de castine consommée. On sait aussi, d'après la qualité de la fonte, la proportion de carbone uni au fer. On peut l'évaluer à environ 3 p. 100 dans la fonte de forge ordinaire.

Soit, a le carbone par kilogramme de fonte, b le carbone fourni par la castine; d'où, pour le carbone total des gaz, $p = a + b - 0^k,03$. Si l'on désigne par y le poids de CO, et par m le rapport de $\frac{CO^2}{CO}$, nous aurons my pour le poids de CO^2; par suite, pour calculer y, l'équation :

$$(1) \qquad \frac{3}{7} y + \frac{3}{11} my = p,$$

formule qui exprime que les quantités de carbone contenues dans CO et CO^2 sont égales au carbone total des gaz.

On en tire $$y = \frac{77 \cdot p}{33 + 21m}.$$

L'oxygène contenu dans les gaz sera de même égal à l'oxygène fourni par le vent et le lit de fusion. C'est ce qu'exprime l'équation :

$$(2) \qquad \frac{4}{7} y + \frac{8}{11} my = d + x,$$

où x représente l'oxygène apporté par le vent, et d celui que fournissent le minerai et l'acide carbonique de la castine.

De cette équation on tire :

$$x = \frac{y}{77}(44 + 56m) - d$$

ou $$x = \left(\frac{44 + 56m}{33 + 21m}\right) p - d.$$

Pour avoir x, il faut d'abord déterminer la valeur de d. Si l'oxyde de fer était *seul* réduit, d serait facile à calculer d'une manière rigoureuse. Il se composerait de deux termes : l'oxygène uni à b de carbone, dans l'acide carbonique de la castine, soit $\frac{8}{3} b$; puis, l'oxygène combiné aux

$0^k,97$ de fer, soit $\frac{3}{7} \times 0^k,97$, si nous admettons le fer à l'état de peroxyde ; en sorte que l'on aurait :

$$d = \frac{8}{3} b + \frac{3}{7} \times 0,97 = \frac{8}{3} b + \frac{2,91}{7}.$$

Mais, en général, la fonte renferme, outre le fer et 3 p. 100 de carbone, d'autres éléments, tels que le silicium, le manganèse, etc., provenant aussi du minerai. Or, si l'on connaissait la composition de la fonte, il serait tout aussi facile de calculer l'oxygène, provenant de ces divers éléments, que celui fourni par l'oxyde de fer.

En négligeant cette correction, on trouve en général une valeur un peu trop faible pour *d*, car cela revient à supposer que ces éléments étrangers se trouvaient unis à la même proportion d'oxygène que le fer, tandis que la silice du moins en fournit une dose plus forte.

En partant de la composition moyenne de la fonte, on peut, en tout cas, se rapprocher davantage de la vérité, et obtenir ainsi pour *d* et pour *x* des nombres très-peu différents de leur valeur réelle. Supposons une fonte grise de forge (nos 3 à 4 de la classification anglaise). On peut admettre comme composition moyenne des fontes peu manganésifères :

Fer	0.94
Carbone	0,03
Silicium, etc.	0,02
Métaux terreux, etc.	0,01
	1,00

D'après les équivalents, la silice renferme 24 d'oxygène pour 21 de silicium, ou 8 sur 7 ; l'oxygène fourni par la silice est par suite $= \frac{8}{7} \times 0^k,02$; et cette expression don-

nerait encore une valeur approchée de l'oxygène, même si le silicium était en partie remplacé par le phosphore ou le soufre, puisque l'acide phosphorique renferme 5 d'oxygène pour 4 de phosphore, et l'acide sulfurique 3 d'oxygène pour 2 de soufre (*). Quant aux métaux terreux, on sait que :

Dans la chaux, l'oxygène correspond aux 2/5 du métal
Dans la magnésie. . . . . aux 2/3
Dans l'alumine. . . . . aux 6/7

On peut donc admettre, comme moyenne approximative, les 5/7 de $0^k,01$. En tous cas, sur une aussi faible dose, l'erreur possible sera insignifiante.

D'après cela, la valeur corrigée de l'oxygène total, fourni par le lit de fusion, sera :

$$d = \frac{8}{3}b + \frac{3}{7}\times 0{,}94 + \frac{8}{7}\times 0{,}02 + \frac{5}{7}\times 0{,}01$$

$$(3)\quad \text{ou}\quad d = \frac{8}{3}b + \frac{1}{7}(2{,}82 + 0{,}16 + 0{,}05) = \frac{8}{3}b + \frac{1}{7}(3{,}03),$$

au lieu de l'expression précédente, plus faible $\frac{8}{3}b + \frac{1}{7}(2{,}91)$.

La valeur de d étant ainsi calculée, on en déduira celle de x, et l'on aura, pour le poids de l'air lui-même, $4{,}33.x$, et pour celui de l'azote du gaz, $3{,}33x$.

Toutefois cela suppose le vent des tuyères parfaitement sec, tandis qu'en réalité il est toujours plus ou moins chargé d'eau, ce qui ajoute l'oxygène de la vapeur d'eau à celui de l'air sec.

L'équation $\frac{4}{7}y + \frac{8}{11}my = d + x$ donne, par suite, pour

(*) L'acide sulfurique fournit, à poids égal, plus d'oxygène que la silice, mais cet excès est compensé par cette circonstance que la majeure partie du soufre des fontes provient de sulfures et non de sulfates.

x l'oxygène réuni de l'air et de l'eau; mais il est facile d'en déduire les valeurs de l'air et de l'azote *secs*.

On sait qu'à la température moyenne de 12 à 13 degrés C. le mètre cube d'air renferme, selon l'état hygrométrique de l'athmosphère, entre 4 et 12 gr. d'eau. En admettant la teneur moyenne de 8 gr., nous aurons pour l'humidité, contenue dans un mètre cube d'air pesant 1300 gr., $\frac{8}{1300} = 0{,}0062$ du poids de l'air sec, et pour l'oxygène, fourni par cette eau, les $\frac{8}{9}$ des 0,0062, $= 0{,}0055$ de l'air sec.

Ainsi, en désignant par z le poids de l'oxygène provenant de l'air sec, et par $4{,}33z$ celui de l'air sec lui-même, on aura :

$$x = z + 0{,}0055 \times 4{,}33 . z = (1 + 0{,}0238)z,$$

et par conséquent : $z = \frac{x}{1 + 0{,}0238} = 0{,}97677 . x$

d'où, pour le poids de l'azote. . . . . $3{,}33 \times 0{,}97677 . x$
pour celui de l'air sec. . . . . $4{,}33 \times 0{,}97677 . x$
et, pour l'air humide. . . . . $1{,}0062 \times 4{,}33 \times 0{,}97677 . x$
ou. . . . . $4{,}33 \times 0{,}9828 . x$

J'observerai au sujet de cette méthode indirecte de déterminer la masse d'air injectée par les tuyères, que si elle n'est pas rigoureusement exacte, puisqu'elle repose sur une sorte d'analyse théorique de la fonte, elle n'en est pas moins beaucoup plus rigoureuse que toutes les autres. On peut d'ailleurs la rendre aussi exacte que possible en déterminant d'abord, par une analyse chimique proprement dite, la composition réelle de la fonte (*).

(*) Les autres méthodes auxquelles on a recours sont les trois suivantes : La *première* consiste à admettre la marche *idéale*, c'est-à-dire à supposer que tout le carbone du coke arrive intact jusqu'aux tuyères, et à calculer l'oxygène correspondant. Or on a vu ci-dessus (§ 5) que même dans le cas d'une bonne marche, le

§ 8. *Accord des formules avec les analyses complètes.* On peut conclure de ce qui précède que, pour avoir la composition des gaz du gueulard, il suffit de déterminer par expérience le rapport $\frac{CO^2}{CO} = m$. Il permet de calculer les quantités *exactes* d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, et la proportion *fort approchée* de l'azote; on en déduit aussi accessoirement, et avec le même degré de précision, le poids du vent. On ne néglige en réalité que l'hydrogène. Mais, dans les hauts-fourneaux marchant au coke, son influence est en réalité à peu près nulle. L'hydrogène des gaz ne peut provenir que de deux sources, de l'humidité du vent et du gaz hydrocarburé que retiennent encore les cokes les mieux cuits. Mais cet hydrogène est en faible proportion et agit d'ailleurs, avec l'oxyde de carbone, comme réductif sur l'oxyde de fer; il reforme de la vapeur d'eau dans les régions supérieures des hauts-fourneaux. Une fraction seulement échappe avec les gaz sans être oxydé. M. L. Bell n'a jamais trouvé, dans les gaz du Cleveland, au delà de 0,001 d'hydrogène, et Ebelmen au plus

---

carbone qui atteint les tuyères peut être inférieur de 16 à 17 p. 100 au carbone *total* du coke, ce qui conduit alors aussi, pour le vent, à un écart égal de 16 à 17 p. 100. La *seconde* méthode, basée sur la formule d'écoulement des gaz par un ajutage conique, fournit un chiffre plus élevé encore. Cette formule, habituellement appliquée d'après d'Aubuisson et Karsten, donne le volume d'air qui passerait par une buse n'ayant à vaincre que la contre-pression de l'atmosphère, tandis qu'en réalité les matières du fourneau opposent une résistance beaucoup plus forte qu'aucune expérience ne saurait fixer rigoureusement. Outre cela, tout l'air de la buse ne passe pas par l'œil de la tuyère; une fraction notable est refoulée au dehors. La *troisième* méthode, celle qui est fondée sur le volume engendré par le piston soufflant, est tout à fait incertaine, parce qu'on ne peut apprécier ni les pertes par refoulement, dont je viens de parler, ni celles qui résultent des fuites inévitables du porte-vent et de l'appareil à air chaud, ni celles qui sont dues à l'imperfection des garnitures du piston et des clapets de la machine.

0,0013 à 0,0018, dans les trois usines de Vienne, Pont-Evêque et Seraing.

Cette faible proportion est sans action sur l'allure des fournaux, et peut, en tous cas, être négligée dans les calculs pratiques, dont je m'occupe ici. Je ne parle pas, bien entendu, des hauts-fourneaux alimentés par de la houille crue.

Montrons maintenant, par deux exemples, l'accord des formules précédentes avec les résultats directs des expériences de M. L. Bell.

Prenons d'abord le petit haut-fourneau de Clarence-Works, de 1853 (voir § 2) dont la hauteur est de $14^m,60$ et la capacité intérieure de 170^{m^3}. La consommation est, par kilogramme de fonte, de $1^k,450$ de coke, ou de $1^k,318$ de carbone pur, et de $0^k,800$ de castine.

Nous avons, dans les formules du § 7 :

$$a = 1^k,318$$
$$b = 0,12 \times 0^k,80 = 0^k,096$$
d'où
$$p = 1^k,318 + 0^k,096 - 0^k,03 = 1^k,384.$$

L'analyse des gaz a donné, d'autre part :

CO^2	11,80
CO	30,50
Az	57,60
H	0,10
	100,00

d'où l'on déduit :

$$\frac{CO^2}{CO} \quad \text{ou} \quad m = \frac{11,80}{30,50} = 0,387$$
$$CO \quad \text{ou} \quad y = \frac{77 \times 1,384}{33 + 21 \times 0,387} = 2^k,591$$
$$CO^2 \quad \text{ou} \quad my = 2,591 \times 0,387 = 1^k,002.$$
$$d = \frac{8}{3} \times 0,096 + \frac{1}{7}(3,03) = 0,256 + 0,423 = 0^k,679$$
$$x = \frac{2,591}{77}(44 + 56 \times 0,387) - 0.676 = 1^k,531$$
$$z = 0,97677 \times 1,531 = 1^k,495$$
enfin l'azote $= 3,33 \times 1,495 = 4^k,978.$

ce qui donne en définitive, par kilogramme de fonte produite, les quantités suivantes de gaz :

CO^2.	1^k,002
CO	2 ,591
Az	4 ,978
Poids des gaz secs. . .	8^k,571

tandis que l'analyse complète, citée ci-dessus, conduit aux chiffres :

CO^2. .	1^k,002	
CO . .	2 ,591	
Az . .	4 ,893	différence 0^k,085, soit moins de 2 p. 10.
	8 ,486	

Prenons comme deuxième exemple, le haut-fourneau de Clarence-Works, de 1866 (§ 2), dont la hauteur est de 24^m,4 et la capacité intérieure de 530^{m3}.

La consommation, par kilogramme de fonte, est de 1^k,125 de coke, ou de 1^k,020 de carbone pur, et de 0,683 de castine.

Ce qui conduit, pour les formules du § 7, aux valeurs :

$$a = 1^k,020,$$
$$b = 0,12 \times 0,683 = 0^k,082,$$
$$\text{d'où } p = 1,020 + 0,082 - 0,03 = 1^k,072.$$

L'analyse du gaz a donné, d'autre part :

CO^2.	17,30
CO	25,20
Az	53,40
H	0,10
	100,00

$$\text{d'où l'on déduit } \frac{CO^2}{CO}, \text{ ou } m = \frac{17,3}{25,2} = 0,6865.$$

$$CO \text{ ou } y = \frac{77 \times 1,072}{33 + 21 \times 0,6865} = \frac{82.5440}{47,4165} = 1^k,740,$$

CO^2 ou $my = 1{,}740 \times 0{,}6865 = \ldots\ldots\ 1{,}195.$

$$d = \frac{8}{3} \times 0{,}082 + \frac{1}{7}(3{,}03) = 0^k{,}219 + 0^k{,}423 = 0^k{,}642,$$

$$x = \frac{1{,}740}{77}(44 + 56 \times 0{,}6865) - 0{,}642 = 1{,}863 - 0{,}642 = 1^k{,}221$$

$$z = 0{,}97677 \times 1{,}221 = 1^k{,}192,$$

et enfin l'azote $= 3{,}33 \times 1{,}192 = 3^k{,}969,$

Ce qui donne, finalement, par kilogramme de fonte produite, les quantités suivantes de gaz :

CO^2	$1^k{,}195$
CO	1 ,740
Az	3 ,969
Poids des gaz secs.	$6^k{,}904$

tandis qu'en partant de l'analyse complète on trouve les chiffres suivants :

CO^2. . . .	1,195	
CO	1,740	
Az	3,965	différence 0,004, soit 0,1 p. 100.
	6,900	

On voit que l'accord est ici aussi complet que possible ; je dirai même, par *pur hasard*, plus complet qu'on n'est en droit de s'y attendre ; car le mode d'analyse, ou plutôt le mode de *prise* de gaz adopté par M. L. Bell ne comporte pas une exactitude parfaite. Quoique les résultats donnés par M. L. Bell soient des *moyennes* de plusieurs opérations, il est impossible d'admettre que des prises presque *instantanées* puissent donner réellement la composition vraie des gaz d'un haut-fourneau. Un homme très-compétent en pareille matière, Ébelmen lui-même, disait en parlant de ses propres analyses du fourneau de Seraing : « Il faut conclure de là que les analyses des gaz du gueu- « lard ne représentent pas la composition *moyenne* du cou-

rant gazeux (*). » Et encore Ébelmen ne se préoccupait-il que de la moyenne des différents filets gazeux à *un moment donné*, tandis que, pour avoir une idée nette de la marche d'un haut-fourneau, il faut trouver non-seulement la moyenne exacte de tous les filets gazeux à un instant donné, mais encore la moyenne réelle d'une période de plusieurs heures. C'est ce que ne réalise aucun des moyens de prise de gaz dont on s'est servi jusqu'à ce jour. Ceci me conduit à proposer le suivant.

§ 9. *Mode de prix de gaz donnant la moyenne de plusieurs heures.* — Le système est emprunté aux recherches importantes que MM. Scheurer-Kestner et Ch. Meunier ont entreprises sur les produits de combustion de la houille (**). Pour avoir une moyenne exacte, on soutire, pendant plusieurs heures et d'une façon continue, un certain volume du courant gazeux total qui se rend du gueulard aux appareils de combustion (chaudières et foyers à vent chaud); et comme on ne peut recueillir la totalité des gaz ainsi aspirés, on en prélève, de la même manière et sans interruption, une certaine fraction dans un vase de Mariotte rempli de mercure de la contenance d'environ trois litres. Voici, en quelques mots, la disposition de l'appareil :

Dans le grand conduit en tôle de fer qui reçoit les gaz du gueulard, on fait pénétrer un tube *mn* en cuivre, de $0^{m},010$ à $0^{m},015$ de diamètre (*fig.* 13), et d'une longueur à peu près double du diamètre intérieur du conduit en question. La partie interne est fendue sur toute sa longueur suivant une rainure *pq* d'un demi-millimètre de largeur; elle permet d'aspirer uniformément les gaz dans toutes les par-

---

(*) *Annales des mines*, tome XIX, 4e série, p. 127.

(**) *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, séance du 26 février 1868, et *Annales de physique et de chimie*, tome XXI, 4e série, page 436.

ties du courant général. La moitié extérieure du tube en cuivre traverse un réfrigérant à eau, système Liebig; enfin le bout extrême du tube en cuivre communique, par un manchon en caoutchouc, avec le conduit en plomb servant d'aspirateur. Celui-ci se compose d'une sorte de trompe *ab*, munie d'un robinet qui permet de régler l'écoulement de l'eau, et d'une branche latérale *cd* plus ou moins longue selon la disposition des lieux; celle-ci est soudée sur le tube vertical *ab*, à une faible distance au-dessous du robinet à eau, et porte également un robinet qui, de concert avec le premier, sert à régler l'écoulement des gaz. C'est le bout de cette branche latérale *cd* qui est lié, par un manchon en caoutchouc, avec le tube en cuivre *mn*. Enfin l'extrémité inférieure de la trompe débouche dans une cuve en tôle remplie d'eau, qui permet à la rigueur de mesurer le gaz ainsi entraîné, en le recevant, pendant quelques minutes, sous une cloche de verre.

Il se pourrait même, dans beaucoup de cas, lorsque la pression est un peu forte au gueulard, que l'on pût se passer de la trompe, et amener directement le gaz dans la cuve inférieure, sans avoir besoin du courant d'eau. Mais, en tout cas, il me paraît plus prudent d'installer la trompe; c'est un moyen simple de régulariser l'écoulement des gaz. On pourra le faire arriver à la vitesse d'environ 4 à 5 litres à la minute.

Pour recueillir maintenant une certaine fraction de ce gaz, 2 ou 3 litres dans l'espace de quelques heures, il suffit de faire usage du vase de Mariotte ci dessus mentionné. A cet effet, le tube de cuivre *mn* est pourvu d'une petite tubulure *h* non loin de son extrémité extérieure. Un bout de tuyau en caoutchouc établit la communication avec le tube droit du vase de Mariotte. L'écoulement du mercure est réglé par un tube recourbé à robinet, que l'on peut d'ailleurs à volonté relever ou abaisser. Enfin une seconde tubulure supérieure du vase de Mariotte porte éga-

lement un tube à robinet *g*, dont on ne fait usage que pour la sortie du gaz au moment de l'analyse. Lorsqu'il s'agit de remplir le vase de Mariotte, il faut, pour chasser tout l'air, faire arriver le mercure par le tube droit, jusqu'à ce qu'il sorte par l'extrémité du tube *g*. On ferme alors le robinet de ce tube, après quoi le mercure monte jusqu'au haut du tube droit lui-même; enfin on établit, à l'aide du caoutchouc, la communication entre ce tube et la tubulure *h* du tube en cuivre *mn*. Si le gaz ne sortait pas spontanément du caoutchouc par sa propre pression, il faudrait, pour se débarrasser de l'air contenu, l'aspirer avec la bouche jusqu'à l'arrivée du gaz, et alors seulement emmancher le caoutchouc sur le tube droit du vase de Mariotte.

Ce qui précède suffit pour montrer le jeu de l'appareil. On voit que, par un double système d'aspiration, on peut se procurer des échantillons représentant aussi exactement que possible la moyenne des gaz s'écoulant par le gueulard pendant plusieurs heures. Il faudrait seulement, si la tension était très-différente au moment du chargement, n'aspirer les gaz que dans l'intervalle des chargements, lorsque le gueulard est plus ou moins fermé.

Quant à l'analyse elle-même du gaz ainsi recueilli, rien n'est plus simple, puisqu'il ne s'agit que de déterminer le rapport de $\frac{CO^2}{CO}$. Inutile de mesurer ou de peser le gaz qu'il s'agit d'examiner. Voici comment il convient d'opérer : Le gaz sort lentement du vase de Mariotte par le tube à robinet *g*, en y faisant arriver le mercure par le tube droit. On sèche le gaz dans des tubes en U à chlorure de calcium ou à pierre ponce sulfurique; on retient l'acide carbonique par des tubes à potasse; brûle l'oxyde de carbone par l'oxyde de cuivre; retient l'eau formée par le peu d'hydrogène contenu, et dose enfin l'acide carbonique, provenant de l'oxyde de carbone, à l'aide d'un deuxième système de tubes

à potasse. L'analyse ne serait inexacte que dans le cas où les gaz renfermeraient des quantités appréciables d'hydrogène carboné, ce qui n'a jamais lieu lorsqu'on marche au coke.

Une dernière précaution peut être nécessaire lors de la prise des gaz. Il est des fourneaux qui *fument* beaucoup, ou dont les gaz entraînent des poussières fines. Il pourrait se faire alors que la fente du tube aspirateur s'obstruât plus ou moins au bout de peu de temps ; c'est ce qui est arrivé à M. Scheurer-Kestner dans ses expériences sur les produits chargés de noir de fumée. On peut y remédier par le moyen dont s'est servi cet habile chimiste. Une sorte de râclette, composée d'une courte lame de cuivre, engagée dans la rainure et fixée sur une tringle que l'on peut manœuvrer de l'extérieur, permet de maintenir la fente constamment libre.

Après avoir fixé le rapport $\frac{CO^2}{CO}$, il convient de déterminer aussi la température moyenne des gaz du gueulard, ce qu permettra de calculer leur chaleur sensible. Lorsque les minerais ne sont pas hydratés, la température des gaz peut atteindre jusqu'à 400 et 600° C., ce qui exclut le thermomètre à mercure. On pourra avoir recours, soit au pyromètre thermo-électrique, soit au pyromètre de M. Lamy, fondé sur les tensions variables de l'acide carbonique provenant de la décomposition des carbonates de chaux ou de magnésie (*).

§ 10. *Détermination de la chaleur consommée par un haut-fourneau.* — Supposons déterminés les deux éléments dont je viens de parler, c'est-à-dire le rapport $\frac{CO^2}{CO} = m$, et la température des gaz à leur sortie du haut-fourneau. Voyons

(*) Comptes rendus. — Tome LXIX, p. 347.

maintenant comment on peut apprécier, à l'aide de ces éléments, la marche d'un haut-fourneau. Il s'agit de comparer, en dernière analyse, la chaleur *reçue* à la chaleur *consommée*. J'ai déjà montré, par quelques exemples, comment on peut calculer la chaleur engendrée par combustion dans le haut-fourneau, dès que l'on connaît la quantité totale de CO^2 et de CO dans les gaz du gueulard. Je montrerai plus tard comment on peut évaluer séparément la chaleur produite, auprès de la tuyère, dans la *zone de fusion*, et celle qui est engendrée dans la *zone de réduction*. Dans les deux cas, il faut d'ailleurs ajouter à la chaleur *produite* celle qui est *apportée* par le vent chaud, ce qui ne présente d'ailleurs aucune difficulté, dès que l'on en connaît la température. C'est la somme de ces deux chaleurs *produite* et *apportée* qui constitue ce que j'appellerai dorénavant chaleur *reçue*. Quant à présent, il convient de montrer comment on peut déterminer la chaleur *consommée*.

Elle se compose de quatre parties :

1° La chaleur absorbée par la réduction du minerai et la fusion de la fonte. C'est un élément *constant* pour une fonte donnée, et qui même varie peu avec les diverses sortes de fontes.

2° La chaleur absorbée par la fusion du laitier, la décomposition du calcaire, la vaporisation de l'eau fournie par le coke et le lit de fusion, et enfin la chaleur qu'exige la décomposition de l'eau du vent.

Cette deuxième partie est essentiellement *variable*, et cela, non-seulement à cause des quantités très-différentes de calcaire et d'eau du lit de fusion, mais encore à cause de la composition très-variable du laitier, qui exige, par ce motif, pour se fondre, des quantités fort inégales de chaleur.

3° La chaleur sensible emportée par les gaz. C'est un élément *variable* aussi, mais toujours facile à calculer, dès que l'on connaît la nature et la température des gaz.

4° La chaleur perdue par rayonnement, par contact, ou par les moyens artificiels de réfrigération. Quelques essais ont été entrepris pour évaluer ces pertes, mais, en général, on ne peut les apprécier qu'en retranchant, de la chaleur *reçue*, la somme des chaleurs *consommées* sous les trois premiers chefs.

Cherchons à évaluer ces divers éléments.

§ 11. 1° *Chaleur absorbée par la réduction du minerai et la fusion de la fonte.* — Admettons, comme au § 7, que la fonte soit composée de 0,94 de fer 0,03 de carbone et 0,03 de silicium, phosphore, soufre, métaux terreux, etc. La chaleur absorbée par la *réduction* est égale à celle que développeraient 0,94 de fer, si on les ramenait à l'état de peroxyde, plus la chaleur fournie par l'oxydation des 0,0 de silicium, phosphore, etc.

La chaleur produite par l'oxydation du fer a été déterminée par plusieurs physiciens.

En brûlant du fer dans l'oxygène, *Dulong* a trouvé que, par kilogramme d'oxygène, la chaleur produite est de 4327 calories (*).

En admettant qu'il se soit formé de l'oxyde magnétique Fe^3O^4, on trouve par kil. de fer :

	calor.
$\left(\frac{4 \times 8}{3 \times 28}\right) \times 4327 = \frac{8}{21} \times 4327 = \ldots\ldots\ldots$	1648
ou, en appliquant la loi de Welther, pour le passage de Fe^3O^4 à Fe^2O^3, par kilog. de fer donnant du peroxyde.	1854
Selon *Andrews*, que cite M. L. Bell, la chaleur produite par kilog. de fer donnant Fe^3O^4 serait de.	1582
et, par suite, pour le peroxyde, de.	1780
Enfin *Favre* et *Silbermann* (**) ont trouvé par voie humide, pour la transformation d'un kilog. de fer en protoxyde.	1352
ce qui donne pour le peroxyde.	2028

(*) *Annales de physique et de chimie*, 3e série, tome VIII.

(**) *Annales de physique et de chimie*, 3e série, tome XXXVII, page 435.

En prenant la moyenne de ces trois déterminations, on trouve finalement 1 887 calories. C'est le nombre que j'admettrai pour la chaleur absorbée, dans la réduction du peroxyde de fer, par chaque kil. de fer métallique produit. Mais il faut reconnaître que ce nombre ne peut être considéré que comme une valeur plus ou moins approchée. Non-seulement les expériences que je viens de citer ne s'accordent pas entre elles, mais encore on ne sait si la loi de Welther est rigoureusement applicable dans les transformations du protoxyde et de l'oxyde magnétique en peroxyde; et, d'ailleurs, les chaleurs dégagées ou absorbées varient avec les densités et l'état moléculaire des produits. Enfin, si l'on s'en rapportait aux expériences de Despretz, on trouverait un chiffre notablement plus élevé. Selon lui, la combustion du fer produirait 5325 calories par kil. d'oxygène, ce qui correspond à 2019 par kil. de fer passant à l'état de Fe^3O^4, et à 2271, lorsque le métal se transforme en peroxyde (*).

Quant à la chaleur fournie par l'oxydation des 0,03 de silicium, phosphore, métaux terreux, etc., il est plus difficile encore de l'évaluer exactement. On sait, par les expériences de MM. Troost et Hautefeuille, que la chaleur produite par l'oxydation du silicium est de 7830 calories, et, d'après Andrews, celle qui résulte de l'oxydation de phosphore de 5747 calories.

(*) Constatons ici que les 1887 calories par kilog. de fer correspondant à $1887 \times \frac{7}{3} = 4403$ calories par kilog. d'oxygène; c'est la valeur de ce que j'ai appelé C dans le § 4. Il en résulte que même la réduction du peroxyde de fer par l'oxyde de carbone correspond à une légère *absorption* de chaleur de $4403 - 4205 = 198$ calories; tandis qu'en adoptant, avec M. Bell, la valeur de 1780 calories, trouvée par *Andrews*, on trouverait par kilog. d'oxygène $1780 \times \frac{7}{3} = 4153$ calories, d'où il résulterait, au moment de la réduction par CO, un léger *accroissement* de chaleur de 52 calories.

On ne connaît d'ailleurs pas celle qui correspond aux métaux terreux. Mais si l'on observe que le silicium est toujours de beaucoup l'élément dominant, on ne s'écartera pas sensiblement de la vérité en adoptant 7000 calories pour la chaleur due à chaque kil. de ces divers éléments. Il est, au reste, d'autant plus nécessaire de réduire le chiffre de 7830 calories, afférent au silicium pur, que la combinaison de cet élément avec le fer est probablement accompagnée d'un léger développement de chaleur, dont il nous est impossible de tenir compte. En résumé donc, on peut admettre que la réduction des oxydes absorbera, par kil. de fonte produite :

	calories.
Pour le fer proprement dit. . . . . $0^k,94 \times 1887 =$	1774
Pour les autres éléments. . . . . $0,03 \times 7000 =$	210
Soit, pour la chaleur totale absorbée par la réduction. . .	1984

et l'on peut observer immédiatement que, sur ces 1984 calories, 1700 environ seront consommées dans la partie haute du four, et 250 à 300 dans les régions inférieures à température élevée.

A la chaleur de *réduction*, il faut ajouter celle de la fonte en *fusion*. Elle se compose de trois parties, la chaleur que la fonte absorbe en passant de la température ordinaire au point de fusion, la chaleur nécessaire à la liquéfaction elle-même (la *chaleur latente de fusion*), enfin celle que la fonte consomme encore pour arriver à la température moyenne du creuset.

Dans la pratique, cependant, cette distinction est oiseuse. L'essentiel est de connaître simplement la chaleur *totale* possédée par la fonte au sortir du haut fourneau. Elle varie avec l'allure du fourneau, et dépend surtout de la température moyenne de l'ouvrage, ou, ce qui revient au même, du degré de fusibilité des laitiers. Si les laitiers sont peu fusibles, tels que les protosilicates terreux, la

fonte séra *chaude;* elle sortira du haut-fourneau à une température plus élevée que si les laitiers sont riches en manganèse et en alkalis, ou même simplement formés de bisilicates à deux ou plusieurs bases. On ne doit donc pas s'étonner si les quantités de chaleur totale des fontes, déterminées par divers auteurs, ne s'accordent pas complétement entre elles.

On s'est servi de calorimètres ordinaires, en évaluant la chaleur prise par l'eau, lorsqu'on y versait la fonte en fusion.

MM. Minary et Résal, en opérant sur de la fonte de seconde fusion, *prête à se figer*, ont trouvé 255 calories (*). M. Rinman est arrivé dans les mêmes circonstances, selon les usines, à 261 calories, 257, 256 et 252, et, sur ce total, 46 calories correspondraient à la chaleur latente de fusion (**).

Au lieu de 255, MM. Minary et Résal ont trouvé, comme chaleur *totale*, 292 calories, en opérant sur de la fonte grise de moulage, chaude, d'un cubilot. Mais la fonte venant des hauts-fourneaux est généralement plus chaude encore que celle des cubilots. M. Rinman a trouvé 300, en moyenne, pour la fonte au charbon de bois, avec des extrêmes de 270 et 311.

MM. Boulanger et Dulait (***) indiquent,

Pour la fonte d'affinage, au coke.	309 cal.
Pour la fonte de moulage.	337

M. Vathaire (****) est arrivé, d'autre part,

Pour la fonte blanche, à.	280 cal.
Pour la fonte grise, n° 3, à.	330

Enfin M. Gillot, ingénieur civil (*****), a trouvé 265 calories

(*) *Annales des mines*, 5e série, tome XIX, page 406.
(**) Mémoire présenté à l'Académie de Stockholm le 15 mai 1865.
(***) *Revue de Liége*, 1862, tome II.
(****) Études sur les hauts-fourneaux.
(*****) Manuscrit communiqué par l'auteur.

pour la fonte refondue au cubilot; et, d'après la moyenne de deux expériences faites au haut-fourneau de Bizy, 337 calories pour la fonte grise de première fusion au charbon de bois.

M. Bell adopte, d'après M. Vathaire, dans ses calculs, la moyenne de 330 calories. C'est aussi le chiffre que je crois devoir accepter, jusqu'à nouvel ordre, pour les fontes grises n° 3. Mais il est évident qu'il faudrait multiplier les expériences et surtout examiner jusqu'à quel point ce nombre dépend de la fusibilité plus ou moins grande des laitiers et de la nature spéciale des fontes.

En résumé donc, la chaleur absorbée par la *réduction du minerai* et la *fusion de la fonte* peut être évaluée, dans le cas d'une fonte grise de forge n° 3 au coke, à:

1984 calories pour la réduction,
et 330 — pour la fusion.

Total 2314 calories.

§ 12. 2° *Chaleur absorbée par la fusion du laitier, la décomposition du calcaire, etc.* — Les laitiers sont très-inégalement fusibles. Sefström et Berthier ont constaté il y a longtemps que les bisilicates, et même les trisilicates de chaux, de magnésie et d'alumine, sont plus fusibles que les protosilicates, et qu'en général le maximum de fusibilité des silicates terreux correspond surtout aux composés voisins des bisilicates. C'est le motif pour lequel on se rapproche de cette dernière formule là où la présence du soufre, ou quelque autre motif analogue, ne réclame pas, dans les lits de fusion, un excès de chaux. Mais on voit, par cela même, que non-seulement la chaleur absorbée par la fusion des laitiers, mais encore celle que prend la fonte, doit varier, comme je le disais ci-dessus, avec la nature chimique de ces laitiers. L'inégale fusibilité des divers silicates a été constatée aussi par Plattner en la compa-

rant à celle de divers alliages de platine et d'or. Or, si la fusibilité varie avec la composition des laitiers, il doit en être de même de leur chaleur totale. Les protosilicates terreux peu fusibles doivent exiger plus de chaleur que les bisilicates de ces mêmes bases, ou que les silicates contenant une certaine proportion d'alkalis et d'oxydes de fer et de manganèse. De là la diversité des résultats, constatés pour les laitiers comme pour les fontes.

MM. Mineray et Résal ont trouvé, pour un laitier très-ferrugineux d'un cubilot, 336 calories;

M. Rinman, dans le mémoire déjà cité, pour un laitier, voisin du sesquisilicate de chaux et de magnésie, 441 calories, et pour un autre 430;

M. Gillot, pour un laitier vitreux au bois, manganésifère, dont la composition doit se rapprocher de celle d'un bisilicate, 370 à 380 calories;

MM. Dulait et Boulanger, pour le laitier correspondant à la fonte d'affinage, 433 calories, et pour celui de la fonte de moulage, 492.

Ces deux laitiers, comme la plupart de ceux qui proviennent des hauts-fourneaux au coke, ne devaient pas s'éloigner beaucoup des protosilicates, mais le premier tenait certainement de l'oxyde de fer.

Enfin M. Vathaire a trouvé, pour un laitier de fonte n° 3 au coke, 550 calories, et M. Bell est même arrivé jusqu'à 572 calories, tout en reconnaissant que ce dernier chiffre est probablement un peu exagéré. Quoi qu'il en soit, on voit, par ce qui précède, que les laitiers bisilicatés et mannésifères peuvent ne retenir, en sortant des hauts-fourneaux, que 370 à 400 calories, tandis que les sesquisilicates se rapprochent de 450, et que les protosilicates peuvent même dépasser 500 calories, lorsqu'ils ne renferment ni fer, ni manganèse, mais par contre une proportion élevée de bases terreuses.

Aussi, à cause de la forte proportion de chaux et d'a-

lumine, M. Bell admet 550 calories pour la chaleur totale des laitiers du Cleveland correspondant à la fonte n° 3.

En tous cas, les laitiers retiennent toujours plus de chaleur que les fontes; ils ont à la fois une chaleur spécifique et une chaleur latente plus élevées. Cette dernière atteindrait, d'après M. Rinman, 120 calories, pour les sesquisilicates, tandis que celle de la fonte est de 46 seulement. Mais on voit, par la diversité des résultats, que si l'on voulait se rendre un compte tout à fait exact des chaleurs absorbées, il faudrait des expériences spéciales pour chaque laitier en particulier.

On a des expériences plus précises sur la chaleur absorbée par la *décomposition du calcaire.* MM. Favre et Silbermann ont trouvé $373^{cal.},5$ pour le spath calcaire proprement dit et $360^{cal.},6$ pour l'arragonite (*). Ainsi, là encore, l'état moléculaire a une certaine influence sur la caloricité, et l'on ne saurait affirmer que tous les calcaires, plus ou moins cristallins ou amorphes, denses ou poreux, réclameront pour leur décomposition la même somme de chaleur. Néanmoins on peut admettre, dans la pratique, le nombre $373^{cal.},5$.

Restent les chaleurs absorbées par la *vaporisation et la décomposition de l'eau.* Pour la vaporisation proprement dite, nous admettrons, avec M. Regnault, $606^{cal.},5$.

Pour la décomposition on a 29003 calories par kil. d'hydrogène mis en liberté; c'est la chaleur produite par la combustion de l'hydrogène donnant de la *vapeur* d'eau (**). Il en résulte $\frac{29003}{9} = 3222$ calories par kil. d'eau décomposée.

(*) *Annales de physique et de chimie*, 3e série, tome XXXVII.

(**) 1 kilog. d'hydrogène produit 34462 calories, la vapeur étant condensée à 0°. Si l'eau reste à l'état de vapeur à 0°, il faut en retrancher $9 \times 606,5 = 5458^{cal.},5$. Il reste donc $29003^{cal.},5$.

Observons, en terminant, que si la fusion des laitiers *absorbe* de la chaleur, la combinaison de la silice et des bases doit probablement en *dégager* une certaine quantité que nous ne pouvons mesurer.

§ 13. 3° *Chaleur sensible emportée par les gaz.* — La chaleur emportée par les gaz est facile à calculer dès que l'on connaît leur température et leur composition.

Il suffit de considérer séparément chacun des corps dont se compose le mélange gazeux. En partant des chaleurs spécifiques, déterminées par M. Regnault, nous aurons, par kil. et par chaque degré centigrade,

	calories.
Pour l'acide carbonique	0,217
L'oxyde de carbone	0,226
L'azote	0,244
La vapeur d'eau	0,480

et l'on verra ci-dessous que, d'après la composition moyenne des gaz d'un haut-fourneau au coke, leur chaleur spécifique moyenne est en général voisine de 0,237.

§ 14. 4° *Chaleur perdue par les parois.* — La chaleur perdue se compose de plusieurs parties. Il y a la chaleur enlevée par l'eau de réfrigération, que l'on peut évaluer sans peine ; il y a la chaleur dispersée par le rayonnement des parois du fourneau ; celle qu'enlèvent les courants d'air léchant ces mêmes parois ; enfin celle qui se perd dans le sol par la base du fourneau. Ces deux dernières parties ne peuvent être mesurées, mais on peut essayer de déterminer, par expérience, la chaleur perdue par voie de rayonnement.

M. Bell a fait quelques expériences à ce sujet au haut-fourneau de Wear. Il s'est servi d'un vase parallélipipédique en cuivre, tenant 19 litres d'eau, dont toutes les parois, sauf une, étaient enveloppées de bois et de flanelle avec interposition de minces couches d'air.

En appliquant, sur divers points et pendant un temps donné, la face non couverte de ce vase, contre les parois du four, il a pu déterminer la chaleur émise par *unité* de surface, et par suite par le fourneau entier. Il a trouvé ainsi :

	cal.
Pour le haut-fourneau de Wear, par kilog. de fonte. . .	186
Et pour la chaleur emportée par l'eau des tuyères :	
10150 kilog. d'eau chauffée à 9°,16 centig., soit. . . .	93
Total.	279

Mais il faut y ajouter la chaleur emportée par les courants d'air et celle qui se perd dans le sol. Aussi trouve-t-on en général, comme nous le verrons, pour la perte totale, plutôt 300 à 400 calories.

§ 15. *Détermination de la chaleur reçue par un haut fourneau.* — Revenons maintenant à la chaleur *produite* dans l'intérieur du fourneau. En négligeant la chaleur résultant de la combinaison des éléments qui constituent soit la fonte, soit les laitiers, la chaleur *produite* provient uniquement de la transformation du carbone en un certain mélange d'oxyde de carbone et d'acide carbonique.

On peut calculer cette chaleur, soit en partant de l'analyse des gaz, soit en considérant séparément la zone de *combustion* auprès de la tuyère, et la zone de *réduction*, où CO se transforme en CO^2.

Appliquons d'abord la première méthode :

En nous servant des notations du § 7, nous aurons y pour le poids final de CO et my pour le poids final de CO^2, par suite $\frac{3}{7}y$ pour le carbone contenu dans CO et $\frac{3}{11}my$ pour le carbone de CO^2. Mais l'acide carbonique renferme b de carbone provenant du calcaire ; par conséquent l'acide carbonique, *produit par combustion*, ne renferme que $\left(\frac{3}{11}my - b\right)$ de carbone.

La chaleur produite se composera donc de la somme des deux produits :

$$(4)\qquad \frac{3}{7}\,y \times 2473 + \left(\frac{3}{11}\,my - b\right) \times 8080 \text{ calories.}$$

Voyons, en second lieu, comment se *répartit* cette chaleur entre les deux zones. Une portion du carbone se transforme en CO dans la partie haute du fourneau ; le reste descend jusqu'aux tuyères et y produit là aussi de l'oxyde de carbone. Enfin une partie de l'oxyde de carbone total, provenant de ces deux sources, est définitivement brûlé en CO^2 par l'oxygène du minerai. La chaleur engendrée dans la zone de *réduction* se compose par suite de la somme des chaleurs produites : 1° par cette combustion partielle du carbone en CO, dans la région haute du four ; 2° par la formation définitive de l'acide carbonique sous l'action du minerai.

Il est facile de calculer ces nombres de calories.

Les $0^k,94$ de fer, constituant 1 kilogramme de fonte, étaient unis dans le peroxyde à $\frac{3}{7} \times 0^k,94 = 0^k,403$ d'oxygène, et cet oxygène s'unit à une proportion d'oxyde de carbone contenant $\frac{3}{4} \times 0^k,403 = 0^k,302$ de carbone. Si donc l'acide carbonique ainsi produit n'était pas partiellement ramené en CO, si, en un mot, le fourneau réalisait la marche *idéale*, on devrait trouver dans les gaz du gueulard un poids de CO^2 contenant $0^k,302 + b$ de carbone, b étant, comme on vient de le rappeler, le carbone fourni par le calcaire. Mais les gaz du gueulard ne renferment que $\left(\frac{3}{11}\,my\right)$ de carbone dans CO^2 ; donc $0^k,302 + b - \left(\frac{3}{11}\,my\right)$ représente le carbone de la portion de CO^2 qui a été ramené en CO, et comme l'acide carbonique brûle précisément un

poids de carbone égal à celui qu'il contenait déjà, cette expression représentera aussi le carbone brûlé en CO dans la région de réduction,

D'autre part, comme (a — $0^k,03$) est, d'après le § 7, le carbone *total* du coke moins les 3 p. 100 cédés au fer, on voit aussi que le carbone *brûlé à la tuyère* sera donné par la différence :

$$(a - 0^k,03) - \left(0^k,302 + b - \frac{3}{11}\, my\right).$$

Ainsi, la *chaleur produite auprès de la tuyère* est égale à :

$$(5)\quad \left\{(a - 0^k,03) - \left(0^k,302 + b - \frac{3}{11}\, my\right)\right\} \times 2473 \text{ calories.}$$

Quant à la *chaleur produite dans la zone de réduction*, elle provient, comme on vient de le voir :

1° Du carbone brûlé en CO par le minerai, soit :

$$\left(0,302 + b - \frac{3}{11}\, my\right) \times 2473 \text{ calories;} \qquad (6)$$

2° De l'oxyde de carbone transformé en CO^2 par ce même minerai.

Or l'acide carbonique ainsi formé contient $\left(\frac{3}{11}\, my - b\right)$ de carbone, et correspond à $\frac{7}{3}\left(\frac{3}{11}\, my - b\right)$ d'oxyde de carbone, qui donnera par combustion :

$$\frac{7}{3}\left(\frac{3}{11}\, my - b\right) \times 2403 \text{ calories.} \qquad (7)$$

La somme de ces trois produits doit nécessairement égaler le nombre que nous avons trouvé ci-dessus par la première méthode, en partant simplement des gaz du gueulard, c'est-à-dire reproduire l'expression :

$$\frac{3}{7}\, y \times 2473 + \left(\frac{3}{11}\, my - b\right) 8080. \qquad (4)$$

C'est ce qui est, en effet, facile à vérifier.

La somme des deux premières expression (5 et 6) revient d'abord à :

$$(a - 0^k{,}03) \times 2473 \text{ calories.}$$

C'est la chaleur produite par le carbone *total* du coke, transformé en CO. Quant à la troisième expression (7) qui donne la chaleur produite par la formation de CO^2, on peut l'écrire ainsi :

$$\left(\frac{3}{11} my - b\right) \times \frac{7}{3} \times 2403 = \left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 5607,$$

et comme

$$5607 = 8080 - 2473,$$

on a finalement :

$$\frac{7}{3}\left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 2403 = \left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 8080 - \\ - \left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 2473.$$

Par suite, la somme des trois expressions (5, 6 et 7) deviendra :

$$\left(a - 0^k{,}03 - \frac{3}{11} my + b\right) \times 2473 + \left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 8080, \quad (8)$$

qui est bien égale à la somme totale (4), car, d'après les notations et l'équation (1) du § 7, on a :

$$a + b - 0^k{,}03 = p$$

et

$$\left(p - \frac{3}{11} my\right) = \frac{3}{7} y,$$

en sorte que le coefficient de 2473, dans l'expression (8), se réduit à $\frac{3}{7} y$, comme dans la somme (4).

D'après ce qui précède, il nous sera maintenant facile

de comparer la chaleur *consommée* à la chaleur *reçue*. Il suffit que l'on connaisse, dans chaque cas particulier, le rapport $\frac{CO^2}{CO} = m$, ainsi que les valeurs de a et b du lit de fusion, rapportées au kilogramme de fonte produite.

Appliquons les formules que je viens de développer à quelques exemples, et d'abord aux fourneaux du Cleveland dont s'est occupé M. Bell.

§ 16. *Premier exemple.* — Comme premier exemple, je choisirai le petit haut-fourneau de Clarence Works de 1853, déjà mentionné au § 8 (*fig.* 2). Je rappelle que sa hauteur est de $14^m,60$ et sa capacité intérieure de 170^{m^3}. On y consomme, par tonne de fonte, 1450 kilogrammes de coke, soit 1318 kilogrammes de carbone pur, 2240 kilogrammes de minerai et 800 kilogrammes de castine.

On a, par suite, par kilogramme de fonte produite :

Carbone du coke, ou $a =$.	$1^k,318$
Carbone du calcaire, ou $b = 0,12 \times 0^k,80 =$. . .	0 ,096
Carbone total, $a + b =$	1 ,414
Carbone pris par le fer.	0 ,030
Carbone total des gaz, ou $p =$	1 ,384
D'après l'analyse des gaz, on a $\frac{CO^2}{CO}$, ou $m =$. . . .	0 ,387

Ce qui conduit, en se servant des formules du § 7, comme je l'ai déjà montré au § 8, aux résultats suivants :

Poids des gaz secs.

my ou CO^2	$= 1^k,002$	Carbone contenu	$0^k,2735 = \frac{3}{11} my.$
y ou CO	$= 2,591$	*id.*	$1,1105 = \frac{3}{7} y.$
$3,33 z$ ou Azote	$= 4,978$		
		Carbone total. . .	$1^k,3840 = p.$
Poids des gaz secs	$= 8,571$		
Eau provenant du coke	$0,051$		
Poids des gaz humides	$8^k,622$		

Poids de l'air injecté.

Oxygène de l'air sec (z).	$= 1^k,495$
Azote.	$= 4,978$
Poids de l'air sec.	$= 6,473$
Humidité $0,0062 \times 6.473$.	$= 0,040$
Poids de l'air humide.	$6^k,513$

Chaleur apportée par le vent.—La température du vent est de 485 degrés C.

La chaleur spécifique de l'air sec est $= 0,2375$, et, comme celle de la vapeur d'eau est de 0,48, la chaleur spécifique moyenne de l'air humide sera de :

$$\frac{0,2375 + 0,0062 \times 0,48}{1,0062} = 0,239.$$

Ce qui donne pour le nombre de calories apportées par le vent humide :

$$6^k,513 \times 485^\circ \times 0,239 = 755 \text{ calories.}$$

Chaleur produite dans le haut fourneau.

Chaleur due à CO^2 :

$$\left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 8080 = (0^k,2735 - 0^k,096) \times 8080 = 1434 \text{ calor.}$$

Chaleur due à CO :

$\frac{3}{7} y \times 2473 = 1^k,1105 \times 2473 =$ 2746

Chaleur produite dans le haut-fourneau par $1^k,288$ de carbone. . . . . 4180 calor.
d'où, chaleur produite par 1 kilog. . . . . 3245 calor.

tandis que ce même kilogramme, complétement brûlé, eût produit 8080 calories, en sorte que la chaleur réellement développée n'est que les 0,40 du pouvoir calorifique proprement dit du coke consommé.

Montrons maintenant comment cette chaleur produite se répartit entre la zone des *tuyères* et celle de la *réduction.*

Le carbone brûlé dans la zone de réduction est donné par l'expression ;

$$0^k,302 + b - \frac{3}{11} my = 0^k,302 + 0^k,096 - 0^k,2735 = 0^k,1245.$$

La carbone total brûlé dans le haut-fourneau est d'ailleurs, comme on vient de le dire. . . . . . . $= 1^k,288$;
donc le carbone brûlé *auprès des tuyères*. . . $= 1^k,1635$,
et la chaleur produite dans cette région :

$$1^k,1635 \times 2473 = 2877 \text{ calories.}$$

Quant à la chaleur de la zone de *réduction*, elle se compose ; 1° du carbone brûlé en CO,

soit $$0^k,1245 \times 2473 = 308 \text{ calories;}$$

2° De l'oxyde de carbone :

$$\frac{7}{3}\left(\frac{3}{11} my - b\right) = \frac{7}{3}(0,1775) = 0^k,414$$

transformé en CO^2,

soit $$0^k,414 \times 2403 = 995 \text{ calories.}$$

Ainsi en résumé, on a dans la *zone de réduction* :

Par le carbone brûlé.	308 calories.
Par l'oxyde de carbone brûlé.	995
Total de la zone de réduction. . . .	1303 calories.
Chaleur de la zone des tuyères.	2877
Total de la chaleur *produite*.	4180 calories.
Chaleur *apportée* par le vent.	755
d'où Chaleur totale *reçue* par le fourneau. . .	4935 calories.

Comparons enfin à ce total la chaleur *absorbée*, ou utilisée, par les matières réduites et fondues dans l'intérieur du haut-fourneau.

En nous reportant au § 10, la chaleur absorbée peut être rangée sous quatre chefs :

1° Un élément à peu près *constant*, comprenant la chaleur prise par la *réduction* du minerai et la *fusion* de la fonte; soit, d'après le § 11, 2314 calories;

2° La *fusion des laitiers*, la *décomposition du calcaire*, etc. (§ 12).

D'après les données précédentes, on trouve ;

Fusion des laitiers.	$1^k,610 \times 550°$	= 885 calories.
Décomposition du calcaire. .	$0,800 \times 373,5$	= 299
Vaporisation de l'eau du coke (*).	$0,051 \times 606$	= 31
Décomposition de la vapeur d'eau du vent.	$0,042 \times 3222$	= 129
Ensemble.		1344 calories.

3° La *chaleur emportée par les gaz* (§ 13). Les gaz s'échappent à la température moyenne de 452 degrés; on trouve, d'après le poids connu des gaz :

(*) Le coke seul contient de l'eau. Le minerai calciné, chargé chaud, n'en renferme pas.

Pour CO^2.	$1^k,002 \times 0,217$	par 1° c.	0,2175 calor.
Pour CO	$2\ ,591 \times 0,226$		0,5855
Pour Az	$4\ ,978 \times 0,244$		1,2146
Pour Eau.	$0\ ,051 \times 0,48$		0,0245
Pour l'ensemble des gaz	$8^k,622$.	par 1° c.	2,0421 calor.

D'où, pour 452° $2\ ,042 \times 452^c = 923$ calories,

et pour la chaleur spécifique *moyenne* des gaz :

$$\frac{2,0421}{8,622} = 0,237,$$

chiffre à peu près constant dans les usines du Cleveland. Ainsi, en résumé, on trouve :

1° Chaleur prise par la réduction et la fusion de la fonte.	2314 cal.
2° Chaleur prise par la fusion du laitier, le calcaire, etc.	1344
3° Chaleur emportée par les gaz.	923
Ensemble.	4581 cal.
d'où 4° Perte par les parois, etc. (différence). . .	354
Total égal à la chaleur reçue. . . .	4935 cal.

§ 17. *Deuxième exemple.* — Comme deuxième exemple, je prendrai le haut-fourneau de Clarence Works de 1866, déjà mentionné dans les §§ 2 et 8 (*fig.* 6.).

Ses éléments sont :

Hauteur : $24^m,40$. Capacité intérieure : 330^{m3}.

Coke consommé par tonne, 1125 kil., ou carbone pur, 1020 kil.
Minerai. . . . . 2240 kil.
Calcaire. . . . . 683 kil.
Laitier produit. . . . . . . 1520 kil.
Température du vent. . . . 485° c.
Température des gaz. . . . 332° c.

On en déduit par kilogramme de fonte produite :

Carbone du coke a	=	$1^k,020$
Carbone du calcaire $b = 0,12 \times 0,683$	=	$0,082$
Carbone total $a + b$	=	$1,102$
Carbone pris par le fer		$0,030$
Carbone total des gaz p	=	$1^k,072$

D'autre part, l'analyse des gaz a donné $m = 0,6865$. Ce qui conduit, en se servant des formules du § 7, aux résultats suivants :

Poids des gaz.

my ou CO^2 =	$1^k.195$	Carbone contenu	$0^k,326 = \frac{3}{11} my$.
y ou CO =	$1,740$	*id.*	$0,746 = \frac{3}{7} y$.
$3,33 z$ ou Azote =	$3,969$		
		Carbone total. . .	$1^k,072 = p$.
Poids des gaz secs	6.904		
Eau provenant du coke	$0,029$		
Poids des gaz humides	$6^k,933$		

Poids de l'air injecté.

Oxygène de l'air sec (z)	=	$1^k,192$
Azote	=	$3,969$
Poids de l'air sec		$5,161$
Humidité $0,0062 \times 5.161$	=	$0,032$
Poids de l'air humide		$5^k,193$

Chaleur apportée par le vent.

$$5^k,193 \times 485° \times 0,239 = 602 \text{ calories.}$$

Chaleur produite dans le fourneau.

Chaleur due à CO^2 :

$$\left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 8080 = (0^k,326 - 0^k,082) \times 8080 = 1971 \text{ calor.}$$

Chaleur due à CO :

$$\frac{3}{7}\, y \times 2473 = 0^k,746 \times 2473 \ldots\ldots\ldots\ldots = 1845$$

Chaleur produite par $0^k,990$ de carbone. . . . . 3816 calor.

d'où Chaleur produite par 1 kilog. de carbone, 3854 calories.

Ce qui donne, pour la chaleur réellement développée, 0,48 du pouvoir calorique du coke consommé.

Les 3816 calories se répartissent, entre les deux zones du fourneau, dans les proportions suivantes : le carbone brûlé dans la zone de *réduction* est donné par la formule :

$$0^k,302 + b - \frac{3}{11} my = 0^k,302 + 0^k,082 - 0^k,326 = 0^k,058\ (*).$$

Donc le carbone brûlé *auprès des tuyères* $0^k,990 - 0^k,058 = 0^k,932$, et la chaleur produite dans cette région :

$$0^k,932 \times 2473 = 2305 \text{ calories.}$$

La chaleur dégagée dans la zone de *réduction* provient :

1° Du carbone brûlé en CO,

soit $0^k,058 \times 2473$. = 144 cal.

2° De CO brûlé en CO^2,

soit $\frac{3}{7}\left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 2403 = \frac{7}{3} \times 0^k,244 \times 2403 = 1367$

Chaleur produite dans la zone de réduction. . . . . . . 1511 cal.

Ainsi, en résumé :

(*) Constatons ici que ces $0^k,058$ de carbone, absorbé pour ramener CO^2 en CO, est moindre que les $0^k,082$ de carbone du calcaire; ce qui prouve, contrairement à l'opinion de M. Bell, que l'acide carbonique du calcaire ne saurait être entièrement transformé en CO dans le haut-fourneau.

Chaleur produite auprès des tuyères.	2305 cal.
Chaleur produite dans la zone de réduction. . . .	1511
Total de la chaleur *produite* par combustion. .	3816 cal.
Chaleur apportée par le vent.	602 cal.
d'où Chaleur totale *reçue* par le fourneau.	4418 cal.

Nous pouvons déjà constater, en comparant ce chiffre total de chaleur *reçue* à celui du premier exemple, que, pour produire le même effet *utile*, on fournit à ce second fourneau 517 calories de moins, et la différence porte tout entière sur la chaleur de la région des tuyères.

La chaleur engendrée dans la zone de réduction est même de 208 calories plus élevée dans le grand four que dans le petit.

Passons à l'évaluation de la chaleur *absorbée :*

1° Pour la *réduction* du minerai et la *fusion de la fonte*, on a, d'après le § 11, le nombre constant. 2314 cal.

2° Pour la *fusion des laitiers*, la *décomposition du calcaire*, etc., le § 12 donne :

Fusion des laitiers. .	$1^k,520 \times 550$ =	836 cal.	
Décomposition du calcaire.	$0,683 \times 373,5$ =	255	
Vaporisation de l'eau du coke.	$0,029 \times 606$ =	18	
Décomposition de la vap. d'eau du vent. .	$0,032 \times 3222$ =	103	
Ensemble.		1212 cal.	1212

3° Chaleur *emportée par les gaz* (§ 13)
$6^k,933 \times 332° \times 0,237$ (*). 545

Total.	4071
d'où 4° *Perte par les parois*, etc., (par différence). . .	347
Total égal à la chaleur *reçue*.	4418 cal.

(*) 0,237 est, d'après le § 16, la chaleur spécifique *moyenne* des gaz.

§ 18. *Troisième exemple.* — Comme troisième exemple, je citerai, avec M. Bell, le haut-fourneau d'*Ormesby*, bâti en 1867 (*fig.* 8). Ses éléments sont :

Hauteur $23^{m},20$, capacité intérieure 584^{m^3}.

On traite, comme à Clarence Works, les minerais calcinés du Cleveland. La production est de 63 tonnes de fonte nos 3 à 4, par vingt-quatre heures, ce qui correspond à $9^{m^3},2$ de capacité intérieure par tonne de fonte :

Coke consommé par tonne,	1100 kil., soit carbone pur, 1017 kil.
Minerai.	2440 kil.
Calcaire.	625 kil.
Laitier produit.	1485 kil.
Température du vent. . .	780°
Température des gaz. . . .	412°

On en déduit par kilogramme de fonte produite :

Carbone du coke a. . . . . $= 1^{k},017$
Carbone du calcaire $b = 0,12 \times 0,625$. . . . $= 0\ ,075$

Carbone total $a + b$. . . . . $= 1\ ,092$
Carbone pris par le fer. . . . . $0\ ,030$

Carbone total des gaz p. . . . . . . $= 1^{k},062$

D'autre part, l'analyse des gaz a donné $m = 0,542$.

En partant de ces données, les formules du § 7 conduisent aux résultats suivants :

Poids des gaz.

my ou $CO^2 = 1^{k},000$	Carbone contenu	$0^{k},272 = \frac{3}{11} my.$
y ou $CO = 1\ ,845$	*id.*	$0\ ,790 = \frac{3}{7} y.$
$3,33\,z$ ou Azote $= 3\ ,743$		
	Carbone total. . .	$1^{k},062 = p.$
Poids des gaz secs $6\ ,588$		
Eau provenant du coke. . . . . . $0\ ,028$		
Poids des gaz humides. . . . . . $6^{k},616$		

Poids de l'air injecté.

Oxygène de l'air sec (z).	$= 1^k,124$
Azote.	$= 3,743$
Poids de l'air sec.	$4,867$
Humidité $0,0062 \times 4,867$	$= 0,030$
Poids de l'air humide.	$4^k,897$

Chaleur apportée par le vent.

$$4^k,897 \times 780^\circ \times 0,239 = 913 \text{ calories.}$$

Chaleur produite dans le fourneau.

Chaleur due à CO^2 :

$$\left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 8080 = (0^k,272 - 0^k,075) \times 8080 = 1592 \text{ cal.}$$

Chaleur due à CO :

$$\frac{3}{7} y \times 2473 = 0^k,790 \times 2473. . . . . = 1954$$

Chaleur produite par $0^k,987$ de carbone. . . . . 3546 cal.

d'où, chaleur produite par 1 kilog. de carbone . . . . . 3593 cal.

Ce qui donne, pour la chaleur réellement développée, 0,44 du pouvoir calorifique du coke consommé.

Les 3546 calories se répartissent, entre les deux zones du fourneau, dans les proportions suivantes :

Le carbone brûlé dans la zone de réduction est donné par

$$0^k,302 + b - \frac{3}{11} my = 0^k,302 + 0^k,075 - 0^k,272 = 0^k,105.$$

Donc le carbone brûlé *auprès des tuyères* $= (0^k,987 - 0^k,105) = 0^k,882$, et la chaleur produite dans cette région :

$$0^k,882 \times 2473 = 2181 \text{ calories.}$$

La chaleur engendrée dans la zone de *réduction* provient :

1° Du carbone brûlé en CO,
soit $0^k,105 \times 2473$. . . . . = 260 cal.
2° De CO transformé en CO^2,
soit $\frac{7}{3}\left(\frac{3}{11}my - b\right) \times 2403 = \frac{7}{3} \times 0197 \times 2403 =$ 1105

Chaleur produite dans la zone de réduction. . . 1365 cal.

Soit, en résumé :

Chaleur produite auprès des tuyères. . . . . 2181 cal.
Chaleur produite dans la zone de réduction. 1365

Total de la chaleur produite par combustion. . 3546 cal.
Chaleur *apportée* par le vent. 913

Chaleur totale *reçue* par le fourneau. . . . . . 4459 cal.

D'autre part, la chaleur *absorbée* se compose de :

1° Pour la *réduction* du minerai et la *fusion* de la fonte, d'après le § 11, le nombre constant. . . 2314 cal.
2° Pour la *fusion des laitiers*, la *décomposition du calcaire*, etc., etc., d'après le § 12 :
Fusion des laitiers. . $1^k,485 \times 550$ = 817 cal.
Décomposition du calcaire. . . . . . $0,625 \times 373,5$ = 233
Vaporisation de l'eau du coke. . . . . . $0,028 \times 606$ = 17
Décomposition de la vap. d'eau du vent. $0,030 \times 3222$ = 97

Ensemble. . . . . . . 1164 cal. 1164
3° Pour *la chaleur sensible des gaz* (§ 13)
$6^k,616 \times 412° \times 0,237$. . . . . = 646

Total. 4124
d'où 4° *Perte par les parois*, etc. (par différence). . . . 335

Total égal à la chaleur *reçue*. . . . . . . 4459 cal.

§ 19. *Quatrième exemple.* — Haut-fourneau de *Consett*, fondant un mélange de minerais calcinés du Cleveland et d'hématites rouges du Cumberland.

Les éléments du fourneau sont :

Hauteur $15^m,40$, capacité intérieure 266^{m^3}.

Production moyenne 55 tonnes de fonte n° 5, par vingt-quatre heures ; ce qui correspond à $4^{m^3},8$ de volume par tonne de fonte.

Coke consommé par tonne
de fonte. . . . . 1137 kil., soit carbone pur, $1035^k,5$
Minerai. . . . . 2083 kil.
Calcaire. . . . . 412 kil.
Laitier produit. . . . . . . 960 kil.
Température du vent. . . . 454°,5 c.
Température des gaz. . . . 477° c.

On en déduit, par kilogramme de fonte produite :

Carbone du coke a.	$= 1^k,0355$
Carbone du calcaire $b = 0,12 \times 0,412$	$= 0\ ,0495$
Carbone total $a + b$.	$= 1\ ,0850$
Carbone pris par le fer.	$= 0\ ,0300$
Carbone total des gaz p.	$= 1^k,0550$

D'autre part, l'analyse des gaz a donné $m = 0,502$.

En partant de ces données, les formules du § 7 conduisent aux résultats suivants :

Poids des gaz.

my ou $CO^2 = 0^k,9355$ Carbone contenu $0^k,2555 = \frac{3}{11}my$.

y ou $CO = 1\ ,8655$ *id.* $0\ ,7995 = \frac{3}{7}y$.

$3,33z$ ou Azote $= 3\ ,8760$

Carbone total. . . $1^k,0550 = p$.

Poids des gaz secs $6\ ,6770$
Eau provenant du
coke. . . . . $0\ ,029$

Poids des gaz humides. . . . . . $6^k,706$

Poids de l'air injecté.

Oxygène de l'air sec (z)	=	$1^k,164$
Azote	=	$3,876$
Poids de l'air sec		$5,040$
Humidité $0,0062 \times 5^k,040$	=	$0,031$
Poids de l'air humide		$5^k,071$

Chaleur apportée par le vent.

$$5^k,071 \times 454°,5 \times 0,239 = 551 \text{ calories.}$$

Chaleur produite dans le fourneau.

Chaleur due à CO^2 :

$$\left(\frac{3}{11}\,my - b\right) \times 8080 = (0^k,2555 - 0^k,0495) \times 8080 = 1664 \text{ cal.}$$

Chaleur due à CO :

$$\frac{3}{7}\,y \times 2473 = 0^k 7995 \times 2473 \ldots\ldots = 1977$$

Chaleur produite par $1^k,0055$ de carbone ($a - 0^k,30$) = 3641 cal.
d'où, chaleur produite par 1 kilog. de carbone. . . . . 3621 cal.

ce qui donne, pour la chaleur réellement développée, 0,45 du pouvoir calorifique du coke consommé.

Les 3641 calories se répartissent entre les deux zones du fourneau, dans les proportions suivantes :

Le carbone brûlé dans la zone de réduction est donnée par :

$$0^k,302 + b - \frac{3}{11}\,my = 0^k,302 + 0^k,0495 - 0^k,2555 = 0^k,096.$$

Douc le carbone brûlé *auprès des tuyères* = $1^k,0055 - 0^k,096 = 0^k,9095$, et la chaleur produite dans cette région :

$$0^k,9095 \times 2473 = 2249 \text{ calories.}$$

La chaleur engendrée dans la zone de *réduction*, provient :

1° Du carbone brûlé en CO,
soit $0^k,096 \times 2473$. . . . . = 237 cal.
2° De CO transformé en CO^2,
soit $\frac{7}{3}\left(\frac{3}{11}my - b\right) 2403 = \frac{7}{3} \times 0^k,206 \times 2403 =$ 1155

Chaleur produite dans la zone de réduction. 1392 cal.

Soit, en résumé :

Chaleur produite auprès des tuyères.	2249 cal.
Chaleur produite dans la zone de réduction. .	1392
Total de la chaleur de combustion. . .	3641
Chaleur apportée par le vent.	551
Chaleur totale *reçue* par le fourneau. .	4192 cal.

D'autre part, la chaleur *absorbée* se compose de :

1° Pour la *réduction* du minerai et la *fusion* de la fonte, d'après le § 11, le nombre constant. . . . 2314 cal.
2° Pour la *fusion des laitiers*, la *décomposition du calcaire*, etc., d'après le § 12 :

Fusion des laitiers. . .	$0^k,960 \times 550$	= 528 cal.
Décomposition du calcaire.	$0,412 \times 373,5$	= 154
Vaporisation de l'eau du coke.	$0,029 \times 606$	= 18
Décomposition de la vap. d'eau du vent.	$0,031 \times 3222$	= 100
Ensemble.		800 cal. 800

3° Pour la *chaleur sensible des gaz* (§ 13)
$6^k,706 \times 477° \times 0.237$. . . . . = 758

Total. 3872
d'où 4° *Perte par les parois*, etc. (différence). 320

Total égal à la chaleur *reçue*. . . . . . 4192 cal.

§ 20. *Cinquième exemple.* — Haut-fourneau de Consett n° 4, fondant, commele précédent, un mélange de minerais calcinés du Cleveland et d'hématites rouges du Cumberland. Les éléments de ce fourneau sont :

Hauteur $15^m,40$; volume intérieur 292^{m^3}.

Production moyenne, 60 tonnes de fonte n°s 4 à 4,5 par vingt-quatre heures; soit $4^{mc},9$ de capacité par tonne de fonte.

Coke consommé par tonne,	900 kil., soit carbone pur, 819 kil.
Mineral.	2083 kil.
Calcaire.	406 kil.
Laitier produit.	950 kil.
Température du vent. . . .	718° c.
Température des gaz. . . .	248° c.

On en déduit, par kilogramme de fonte produite :

Carbone du coke a. . . . . $= 0^k,8190$
Carbone du calcaire $b = 0,12 \times 0^k,406$. . . $= 0\ ,0485$

Carbone total $a+b$. . . . . $= 0\ ,8675$
Carbone pris par le fer. . . . . $0\ ,0300$

Carbone total des gaz p. . . . . $= 0^k,8375$

L'analyse du gaz a donné $m = 0,623$.

En appliquant les formules du § 7, on trouve ;

Poids des gaz.

my ou $CO^2 = 0^k,8715$	Carbone contenu	$0,2375 = \frac{3}{11}my.$
y ou $CO = 1\ ,4000$	*id.*	$0,6000 = \frac{3}{7}y.$
$3,33\,z$ ou Azote $= 2\ ,8670$		
	Carbone total. . .	$0,8375 = p.$

Poids des gaz secs 5 ,1385
Eau provenant du coke. . . . . . 0 ,0225
Poids des gaz humides. . . . . . $5^k,1610$

Poids de l'air injecté.

Oxygène de l'air sec (z)	=	$0^k,861$
Azote	=	$2,867$
Poids de l'air sec	=	$3,728$
Humidité $0,0062 \times 3,728$	=	$0,023$
Poids de l'air humide	=	$3^k,751$

Chaleur apportée par le vent.

$$3^k,751 \times 718^\circ \times 0,239 = 643 \text{ calories.}$$

Chaleur produite dans le haut-fourneau.

Chaleur due à CO^2 :

$$\left(\frac{3}{11} my - b\right) \times 8080 = (0^k,2375 - 0^k,0485) \times 8080 = \quad 1527 \text{ cal.}$$

Chaleur due à CO :

$$\frac{3}{7} y \times 2473 = 0,600 \times 2473 \ldots\ldots = 1484$$

Chaleur produite par $0^k,789$ de carbone. . . . . . 3011 cal.
d'où, chaleur produite par 1 kilog. de carbone. . . . . 3816 cal.

ce qui donne, pour la chaleur réellement développée, 0,47 du pouvoir calorifique du coke consommé.

Les 3151 calories se répartissent, entre les deux zones du fourneau, dans les proportions suivantes :

Le carbone brûlé dans la zone de réduction est donné par :

$$0^k,302 + b - \frac{3}{11} my = 0^k,302 + 0^k,0485 - 0^k,2375 = 0^k,113.$$

Donc le carbone brûlé auprès des tuyères,

$$\text{par } 0^k,789 - 0^k,113 = 0^k,676,$$

et la chaleur produite dans cette région,

$$\text{par } 0,676 \times 2473 = 1672 \text{ calories.}$$

La chaleur engendrée dans la zone de *réduction*, provient :

1° Du carbone brûlé en CO,
soit $0^k,113 \times 2473$. . . . . = 279 cal.

2° De CO transformé en CO^2,

soit $\frac{7}{3}\left(\frac{3}{11}my - b\right) \times 2403 = \frac{7}{3} \times 0^k,189 \times 2403 = 1060$

Chaleur produite dans la zone de réduction. . 1339 cal.

Soit, en résumé :

Chaleur produite auprès des tuyères.	1672 cal.
Chaleur produite dans la zone de réduction. .	1339
Total de la chaleur de combustion. . . .	3011
Chaleur apportée par le vent.	643
Chaleur totale *reçue* par le fourneau. .	3654 cal.

D'autre part, la chaleur *absorbée* comprend :

1° Pour la *réduction* du minerai et la *fusion* de la fonte, d'après le § 11, le nombre constant. . . . 2314 cal.

2° Pour la *fusion des laitiers*, la *décomposition du calcaire*, etc., d'après le § 12 :

Fusion des laitiers. . .	$0^k,950 \times 550$	= 522 cal.
Décomposition du calcaire.	$0,406 \times 373,5$	= 152
Vaporisation de l'eau du coke.	$0,0225 \times 606$	= 14
Décomposition de la vap. d'eau du vent.	$0,023 \times 3222$	= 74
Ensemble.		762 cal. 762

3° *Pour la chaleur sensible des gaz* (§ 13)
$5^k,161 \times 248° \times 0,237$. . . . . = 303

Total. 3379

d'où 4° *Perte par les parois*, etc. (par différence). . . 275

Total égal à la chaleur *reçue*. . . . . . . 3654 cal.

§ 21. *Conséquences déduites des exemples précédents.* — Maintenant, avant d'appliquer cette méthode d'analyse de

la marche des hauts-fourneaux à d'autres exemples, cherchons à dégager des chiffres précédents les enseignements qu'ils renferment. Examinons successivement l'influence du *volume* et de la *hauteur* des fourneaux, puis celle de la *température du vent.*

A cet effet, commençons par rapprocher, dans un tableau unique, les résultats les plus saillants fournis par les exemples que nous venons d'étudier.

NOMS des fourneaux.	Haut-fourneau de Clarence Works de 1853.	Haut-fourneau de Clarence Works de 1866.	Haut-fourneau d'Ormesby de 1867.	Haut-fourneau de Consett.	Haut-fourneau de Consett n° 4.
Capacité intérieure des fourneaux en mètres cubes	m^3 170	m^3 330	m^3 584	m^3 266	m^3 292
Hauteur des fourneaux	mètres. 14,60	mètres. 24,40	mètres. 23,20	mètres. 16,80	mètres. 16,80
Production par vingt-quatre heures	tonnes. 30	tonnes. 38.6	tonnes. 63	tonnes. 55	tonnes. 60
Capacité par tonne produite dans les vingt-quatre heures	m^3 5,6	m^3 8,6	m^3 9,2	m^3 4,8	m^3 4,9
Nature de la fonte, classée par numéros	n°s 3 à 4	n°s 3 à 4	n°s 3 à 4	n° 5	n°s 4 à 4,5
Minerai consommé par kilogramme de fonte	kilog 2,440	kilog. 2,440	kilog. 2,440	kilog. 2,083	kilog. 2,063
Castine consommée par kilogramme de fonte	0,800	0,683	0,625	0,412	0,406
Carbone total brûlé	1,288	0,990	0,987	1,0055	0,789
Carbone brûlé dans la zone de réduction	0,1245	0.058	0,105	0,096	0,113
Température du vent	degrés. 485	degrés. 485	degrés. 780	degrés. 454,5	degrés. 718
Température des gaz	452	332	412	477	248
Valeur de $m = \frac{CO^2}{CO}$	0,387	0,6865	0,542	0,502	0,623
Chaleur développée dans le fourneau par chaque kilogramme de carbone brûlé	calor. 3245	calor. 3854	calor. 3593	calor. 2621	calor. 3816
Poids du vent	kilog. 6,513	kilog. 5,193	kilog. 4,897	kilog. 5,071	kilog. 3,751
Poids des gaz	8,622	6,933	6,616	6,706	5,161
Chaleur de combustion, dans la zone de réduction, par kilogramme de fonte produite	calor. 1303	calor. 1511	calor. 1365	calor. 1392	calor. 1339
Chaleur de combustion dans la zone des tuyères	2877	2305	2181	2249	1672
Chaleur totale de *combustion*	4180	3816	3546	3641	3011
Chaleur apportée *par le vent*	755	602	913	551	643
Chaleur *totale reçue*	4935	4418	4459	4192	3654
Chaleur de la zone de fusion (somme de la chaleur de combustion auprès des tuyères et de celle qu'apporte le vent)	3632	2907	3094	2800	2315
Chaleur absorbée par la réduction du minerai et la fusion de la fonte	2314	2314	2314	2314	2314
Chaleur absorbée par la fusion des laitiers, la décomposition du calcaire, etc.	1344	1212	1164	800	762
Chaleur sensible emportée par les gaz	923	545	646	758	303
Chaleur perdue par les parois, etc. (déterminée par différence)	354	347	335	320	275
Somme de la chaleur consommée	4935	4418	4459	4192	3654

Observons maintenant, tout d'abord, au sujet des cinq exemples ci-dessus résumés, que les fourneaux de Consett ne sont pas rigoureusement comparables aux trois autres. On y traite des minerais plus riches, un mélange d'hématites et d'oxydes calcinés du Cleveland ; et, ce qu'il importe surtout de signaler, la fonte y est *moins chaude ;* elle appartient aux nos 4 à 5, et non au nos 3 à 4, comme celle des usines de Clarence et d'Ormesby.

Il en résulte que l'on aurait dû compter, dans le calcul des fours de Consett, un peu moins de 330 et de 550 calories pour la chaleur absorbée par la fonte et les laitiers. Cette circonstance explique les chiffres relativement faibles, trouvés par différence, dans le cas des fourneaux de Consett, pour la chaleur perdue par les parois.

Cela dit, comparons, en premier lieu, les deux fourneaux de Clarence-Works, qui ne diffèrent l'un de l'autre que par le *volume* et la *hauteur*, tandis qu'ils reçoivent rigoureusement le même minerai, le même fondant, le même coke, le vent à la même température, et donnent de la fonte de même nature. Si donc, la consommation est différente, cela doit tenir surtout à cette inégalité de *hauteur* et de *capacité* des deux fourneaux. Il convient de remarquer pourtant que le profil du four de 1866 est plus *élancé* que celui de 1853 (*fig.* 2 et 6 de la Pl. I). Pour des hauteurs très-différentes, le ventre du grand four n'a que $0^m,15$ de plus que celui du petit. La répartition des gaz réducteurs, et par conséquent la réduction elle-même, seront moins *uniformes* dans le petit fourneau, et cette circonstance peut déjà entraîner une allure moins économique. Néanmoins on sait, par l'expérience générale des hauts-fourneaux, que cette différence de profil ne saurait avoir une bien grande influence, dès que le mode de chargement est approprié à la section des fourneaux, ce qui paraît être le cas de ceux de Clarence-Works.

La descente des charges est plus lente dans le grand

four; par tonne de fonte, la capacité intérieure y est de $8^{m3}6$, contre $5^{m3}6$ dans le petit. Mais ce n'est pas cette circonstance seule qui peut expliquer les consommations si différentes des deux fourneaux. Dans la plupart des anciens hauts-fourneaux du Royaume-Uni et du Continent, le volume intérieur ne dépasse pas 5 à 6^{m3} par tonne de fonte, et cela avec des consommations qui, très-souvent, sont plus faibles que celles du Cleveland; et d'ailleurs, comme je l'ai déjà fait remarquer dans le § 2, les fourneaux les plus modernes du Cleveland, qui mesurent jusqu'à 10, 12 et 14^{m3} par tonne de fonte, ne consomment pas moins, à température égale du vent, que les fourneaux d'une capacité moindre, pourvu que la hauteur de ces derniers soit appropriée à la nature plus ou moins réfractaire du minerai et à la température du vent. Il suffit, au reste, de consulter les chiffres se rapportant aux hauts-fourneaux de Consett pour se convaincre que, même avec des hauteurs de $15^{m}.40$ et des volumes inférieurs à 5^{m3} par tonne, on peut arriver, avec des minerais appropriés, à des consommations faibles. On peut donc déjà conclure de là, qu'il serait téméraire d'affirmer, d'une façon générale, qu'en toutes circonstances des hauts-fourneaux d'une grande hauteur et à grand volume doivent nécessairement consommer moins que ceux de dimensions plus faibles.

Ce qui frappe, lorsqu'on compare les deux hauts-fourneaux de Clarence, c'est d'abord la différence de température des gaz : 452 degrés dans le petit, contre 332 degrés dans le grand; puis, la différence de valeur du rapport $\frac{CO^2}{CO} = m$ qui est de 0,387 dans le petit four contre 0,6865 dans le grand.

Cette valeur si faible de m, dans le petit four, dénote une combustion défavorable du carbone; c'est-à-dire, la formation abondante de l'oxyde de carbone aux dépens de l'acide carbonique dû à la réduction.

On voit, en effet, que chaque kilogramme de carbone brûlé produit. . . . . 3854 calories dans le grand four, et seulement. . . . . 3245 dans le petit.
Différence. . . . . 609 calories.

On constate surtout un écart très-grand en ce qui concerne le carbone brûlé dans la zone de réduction : $0^k,058$ par kilogramme de fonte dans le grand fourneau, contre 0,1245 dans le petit, écart qui prouve bien que ce dernier four s'éloigne davantage de l'allure *idéale* que le premier.

En réalité, par kilogramme de fonte :

Le grand fourneau
consomme. . . . $1^k,020$ de carbone, dont { $0^k,990$ sont brûlés, $0^k,030$ pris par le fer.
Le petit fourneau
consomme. . . . $1^k,318$ de carbone, dont { $1^k,288$ sont brûlés, $0^k,030$ pris par le fer.
Différence. . . $0^k,298$ en faveur du grand fourneau.

Le tableau montre encore, que, par kilogramme de fonte produite,

La chaleur totale *reçue* par le petit four, est de 4935 cal.
La chaleure *reçue* par le grand, de. 4418
Différence. . . . . . 517 cal.

Et cet excédant est fourni, partie par le vent chaud, partie par combustion proprement dite. Malgré l'égalité de température, le vent apporte plus de chaleur au petit four qu'au grand, par le motif que, consommant plus de charbon, il réclame aussi plus de vent.

Le petit fourneau reçoit, par le *vent chaud,* 755 cal.
Le grand, seulement. 602
Différence. . . . . 153 cal.
Et, d'autre part, la chaleur totale de *combustion* est,
dans le premier cas, de. . . . . 4180 cal.
Dans le second, de. 3168
Différence. . . . . 364 cal.

Mais ce qui caractérise surtout la marche des deux fourneaux, c'est que, dans le plus élevé des deux, la chaleur directement engendrée dans la région de *réduction* est plus considérable que dans le petit ; et, par contre, ce dernier reçoit beaucoup plus de chaleur auprès des tuyères.

Le tableau donne les quantités suivantes :

La zone de *réduction* du four élevé reçoit. . .	1511 cal.
— — du petit four.	1303
Différence.	208 cal.
La zone de *fusion* du petit four reçoit.	3632 cal.
— — du grand four.	2907
Différence inverse.	725 cal.

Or, c'est précisément cette plus grande chaleur, développée dans la zone de réduction, qui constitue tout l'avantage du four élevé. Remarquons, en effet, que l'excédant de 208 calories, au profit de la région supérieure du grand four, ne provient nullement d'une plus forte dose de *carbone solide* brûlé dans cette région. Nous voyons, au contraire, que le carbone consommé par la zone de réduction n'est que de $0^k,058$ dans le four élevé, lorsqu'il atteint $0^k,1245$ dans le petit four ; mais, au lieu de carbone solide, on brûle, dans la zone de réduction du grand four, de l'oxyde de carbone. Si l'on remonte aux §§ 16 et 17, on verra que, par kilogramme de fonte, les quantités d'oxyde de carbone, transformé en acide carbonique, sont de $0^k.414$ dans le petit fourneau, contre $\frac{7}{3} \times 0^k,244 = 0^k,569$ dans le grand ; et les chaleurs, développées dans ces régions supérieures, sont données par le tableau suivant :

DANS LE GRAND FOUR.		DANS LE PETIT.
Par le carbone brûlé.	144 calories.	. . . . 308 calories.
Par l'oyde de carbone brûlé.	1367 calories.	. . . . 995 calories.
Totaux.	1511 calories.	. . . . . 1303 calories.

Ainsi en résumé, comme je l'ai déjà dit, le four élevé se rapproche beaucoup plus de la marche *idéale* que le petit. On y brûle moins de carbone solide et plus d'oxyde de carbone ; et cette différence d'allure se traduit précisément par les deux valeurs si différentes, 0,387 et 0,6865, du rapport $\frac{CO^2}{CO}$ des gaz du gueulard. Tandis que, par kilogramme de fonte, les gaz du grand fourneau renferment $1^k,195$ de CO^2 pour $1^k,740$ de CO, ceux du petit contiennent 1,002 de CO^2 pour 2,591 de CO.

Voyons maintenant ce que deviennent, dans les deux fourneaux, les chaleurs *reçues*. On doit retrouver dans les produits, l'excédant de 517 calories du petit fourneau.

Nous voyons en effet, que les gaz emportent, sous forme de chaleur *sensible :*

	923	cal. dans le cas du petit four,
et seulement. . . .	545	cal. dans le cas du grand.
Différence.	378	calories.

D'autre part, la fusion des laitiers et la décomposition du calcaire exigent également plus de chaleur dans le petit four, parce que l'excès de coke, amène un excès de cendres, qui réclame à son tour, pour les fondre, un excès de castine. On a pour ce chef,

	1344	cal. dans le petit four,
et.	1212	cal. dans le grand.
Soit une différence de	132	calories.

La somme de ce double écart est de 510 calories ; restent 7 calories, pour parfaire les 517 ; on les retrouve dans les pertes dues au rayonnement, évaluées par différence (*).

(*) Les parois du petit four, quoique moins étendues, sont plus chaudes vers le haut, puisque les gaz du gueulard y ont une température plus élevée.

Mais ces 517 calories ne représentent qu'une faible partie de la différence de consommation des deux hauts-fourneaux, celle qui correspond à la chaleur *sensible*. Il en est une autre beaucoup plus importante qui se manifeste par la proportion plus élevée de l'oxyde de carbone dans les gaz du gueulard. D'après ce que je viens de rappeler, les gaz du petit fourneau renferment, par kilogramme de fonte, $2^k,591 - 1^k,740 = 0^k,851$ plus d'oxyde de carbone que ceux du grand, soit une différence de pouvoir calorifique de $0^k,851 \times 2403 = 2045$ calories.

Si nous y ajoutons les 517 calories de chaleur sensible, nous aurons un total de 2562 calories, reçues en plus par le petit fourneau. Sur ce total, 153 calories proviennent du vent chaud ; par suite $2562 - 153 = 2409$ calories résultent de l'excès de carbone brûlé ; et le poids de ce carbone lui-même sera de $\frac{2409}{8080} = 0^k,298$, ce qui est précisément, comme je l'ai rappelé ci-dessus, la différence de consommation des deux fourneaux.

Nous venons d'analyser les différences de *production* et de *consommation* de chaleur dans les deux fourneaux ; voyons maintenant à quelles *causes* on doit faire remonter ces différences ?

Rappelons d'abord que la descente des charges est *moins rapide* dans le grand fourneau. Le minerai n'y atteint pas, dans un aussi court espace de temps, la région où la température est assez élevée pour déterminer la réduction de l'acide carbonique par le carbone solide du coke.

Déjà, au niveau du gueulard, la température des gaz est plus élevée dans le petit four que dans le grand : 452° au lieu de 332°. Et à partir de là, en descendant, la température doit nécessairement croître d'autant plus rapidement, toutes choses égales d'ailleurs, que le gueulard est plus rapproché de la zone de fusion ; M. Bell a trouvé, dans le four de $14^m,60$,

Le rouge cerise à.	$2^m,97$ du gueulard
Le rouge vif (8 à 900°) à. . . .	$4^m,80$
La température de la fusion du cuivre (1.000 à 1200°) à. . .	$8^m,32$ du gueulard,

Par contre, dans le fourneau de $24^m,40$, le rouge vif n'a été rencontré qu'à la profondeur de $7^m,90$, et le point de fusion du cuivre à $15^m,80$. Ainsi, dans la partie haute du grand fourneau, il existe une zone beaucoup plus étendue, où la réduction peut se faire, comme dans la marche *idéale*, sous la seule action de l'oxyde de carbone, sans consommation de carbone solide.

Là est tout le secret de la supériorité du grand fourneau. D'une part, les gaz sortent de l'appareil à une température moins élevée, on utilise mieux leur chaleur sensible; d'autre part, il se forme une proportion plus forte d'acide carbonique, ce qui a le grand avantage de consommer, dans la zone de réduction, peu de carbone solide, tout en développant beaucoup de chaleur par la combustion de l'oxyde de carbone.

Mais doit-on conclure de là que, dans un haut-fourneau de dimensions données, la consommation sera nécessairement d'autant plus faible que les charges descendront plus lentement et que la production sera moindre; ou bien, qu'en augmentant la hauteur et la capacité des hauts-fourneaux, on en rendra toujours la marche plus économique?

N'y a-t-il, sous ce double rapport des *dimensions* et de la *production* aucune limite? N'y aurait-il pas, comme nous l'avons déjà fait pressentir dans le § 2, pour chaque minerai et chaque fonte, une certaine vitesse et un volume moyen susceptibles de donner le maximum d'avantages, une sorte de *juste-milieu* qu'on ne saurait dépasser impunément? Il vaut la peine d'approfondir la question. Et d'abord examinons le cas des *petits* fourneaux; voyons ce que la pratique nous dit au sujet des conséquences d'une marche *extra-lente*.

§ 22. *Influence d'une marche extra-lente.* — M. Bell avait à Clarence Works six petits hauts-fourneaux de 48 pieds (14m,60) de hauteur et de 170m³ de capacité. D'après la moyenne d'un mois, la consommation y était de 1375 kilogrammes de coke, lorsque la production quotidienne de chacun d'eux atteignait 35 tonnes; c'était leur marche normale. A titre d'essai on fournit moins de vent à ces appareils, on réduisit graduellement leur production; or voici les consommations auxquelles on arriva :

Avec une production de 31ton,3, la consommation fut de 1449 kil.
Avec une production de 29 ,4, la consommation fut de 1553 kil.
Avec une production de 26 ,6, la consommation fut de 1517 kil.

C'est-à-dire, *consommation croissante par le fait d'un ralentissement de la marche.* Ce seul exemple pourrait cependant ne pas être concluant; car même à 26t,6 de production par jour, la marche n'est pas encore très-lente, puisqu'à chaque tonne de fonte ne correspondent encore que 6m³,50 de volume intérieur.

Mais voici, à mon avis, des faits plus saillants. Je rappellerai les consommations énormes, constatées par Ebelmen, vers 1845, dans les deux petits hauts-fourneaux au coke de Pont-Évêque et de Vienne dans l'Isère (*).

A Pont-Évêque un haut-fourneau de 11 mètres de hauteur et de 36m³ de volume, ne produisait par vingt-quatre heures que 3t,6 de fonte blanche de forge, avec une consommation de 2000 kilogrammes de coke par tonne; c'était une marche *extra-lente*, puisque le volume intérieur était de 10m³ par tonne *de fonte blanche.*

A Vienne un haut-fourneau de 10 mètres de hauteur et 35m³ de capacité, donnait 4 tonnes de fonte de moulage en consommant 2850 kilogrammes de coke! Dans ce der-

(*) *Annales des mines*, 4e série, tome V.

nier cas, cependant, eu égard à la nature de la fonte, on s'écartait moins de l'allure ordinaire, le volume par tonne n'étant pas supérieur à $8^{m3},75$. L'énorme consommation tenait surtout à la faible hauteur du four.

Ebelmen fut frappé de l'exagération de ces chiffres, mais, au lieu d'en rechercher la véritable cause, il se contenta d'en tirer cette conclusion générale, tout à fait erronée, que les *hauts-fourneaux au coke brûlent deux fois autant de carbone que les hauts-fourneaux au charbon de bois.* A cause de la nature plus basique des laitiers, la fonte au coke peut en effet exiger, toutes choses égales d'ailleurs, un léger excès de carbone, mais à allure et laitiers identiques, c'est plutôt le travail au charbon de bois qui réclame plus de carbone, à cause de la grande porosité de ce combustible, qui favorise davantage sa combustion, par l'acide carbonique, dans les parties hautes du four.

Ce qui est positif, c'est que la forte consommation des anciens hauts-fourneaux de Vienne et de Pont-Évêque, tient à la fois à leur faible hauteur et à la lenteur de leur marche. Depuis lors, en effet, tous les hauts-fourneaux de la vallée de Rhône ont été portés à 15 ou 16 mètres, et, grâce à leur production plus forte, le volume intérieur ne dépasse plus 5 à 6^{m3} par tonne, ni la consommation 11 à 1200 kilogrammes pour la fonte de forge, du moins lorsque le coke est de bonne qualité et ne tient pas au delà de 10 à 12 p. 100 de cendres et d'eau.

Il me paraît donc prouvé par la pratique, que non-seulement la *faible hauteur*, mais encore un *excès de lenteur* dans la marche peut augmenter, dans une certaine mesure, la consommation. Au reste, la théorie bien entendue s'accorde aussi sur ce point avec la pratique.

Quelle que soit la marche des charges, qu'elle soit lente ou rapide, il est bien évident que leur température croîtra toujours d'autant plus brusquement, que la hauteur du fourneau sera moins grande. Le minerai, dans ces condi-

tions, arrive toujours fort peu réduit dans la zone où déjà la chaleur est assez élevée pour brûler le charbon par l'acide carbonique. Par conséquent, la consommation sera oujours fort élevée dans les fourneaux d'une faible hauteur. Mais deux cas extrêmes peuvent encore aggraver le mal.

Si la marche est par *trop rapide*, — et dans ce cas bien entendu le courant gazeux ascendant, comme le courant solide descendant, ont tous deux un excès de vitesse, — on ne laisse pas à l'oxyde de carbone le temps indispensable pour opérer la réduction dans les parties hautes du four. Si, au contraire, la marche est *par trop lente*, l'acide carbonique, en séjournant plus longtemps au milieu du charbon, reformera par cela même de l'oxyde de carbone en proportions plus fortes.

Dans les deux cas on s'éloigne davantage de la marche *idéale* : on consomme plus de charbon, et l'on retrouve dans les gaz une proportion moindre d'acide carbonique (*).

Par suite, il est bien évident qu'entre ces deux cas extrêmes, il doit y avoir, pour tout haut-fourneau, une vitesse *moyenne*, grâce à laquelle la consommation sera un *minimum* (**).

§ 23. *Influence des hauteurs, ou volumes, exagérés.* — Passons aux *grands* fourneaux modernes du Cleveland. Leur marche est relativement *lente*, puisqu'à chaque tonne de

(*) Les analyses d'Ebelmen donnent, en effet, pour le haut-fourneau de Pont-Évêque, une valeur de 0,400 seulement pour le rapport $= \frac{CO^2}{CO}$; et si les gaz du haut-fourneau de Vienne conduisent néanmoins au rapport élevé 0,721, c'est que, sans doute, les prises de gaz ne représentaient pas le courant moyen.

(**) Je ne prétends pas, bien entendu, que ce minimum théorique soit toujours dans la pratique la marche la plus favorable. Pour réduire les frais généraux, il peut y avoir parfois avantage à forcer la production aux dépens de la consommation.

fonte produite correspondent 8, 10, 12 et même 14 mètres cubes.

Or, cette marche lente peut offrir, jusqu'à un certain point, dans les grands fourneaux, les mêmes inconvénients que dans les petits; l'acide carbonique a le temps de reformer de l'oxyde de carbone, quoique, grâce à l'accroissement plus graduel de la température, dans les parties hautes des grands fourneaux, cette réaction du charbon sur l'acide carbonique y soit beaucoup moins énergique que dans les appareils d'une faible hauteur. Mais on comprend pourtant que là aussi il doit y avoir une sorte de *juste-milieu* à consommation minimum.

Au reste, pour ce qui concerne en particulier la *hauteur*, il est de toute évidence qu'elle est limitée par l'état physique du minerai et du combustible. Si ces matières sont menues, ou friables, si elles s'écrasent ou se tassent sous leur propre poids, on ne peut dépasser une certaine élévation, à cause de la résistance qu'opposent les charges comprimées à la libre introduction du vent et au passage uniforme et régulier des gaz.

Mais si la *hauteur* se trouve ainsi limitée, il en sera de même du *volume* de la cuve. Pour une hauteur donnée, on ne peut grandir la cuve qu'en faisant croître son diamètre, ce qui rendra le profil plus *trappu*, par suite, la distribution des gaz moins régulière et la réduction moins uniforme.

En un mot, toutes les conditions de marche seront moins favorables. On ne peut donc pas plus dépasser impunément une certaine limite de *volume* que de *hauteur*. Observons d'ailleurs que si la cuve est large, et partant la distribution du courant gazeux *inégale*, il faudra remédier à ce dernier inconvénient par une marche d'autant plus lente. Cela explique pourquoi les fourneaux monstres du Cleveland ont, par tonne de fonte, jusqu'à 8 à 12 mètres cubes de capacité; et pourquoi, aussi, dès que l'on essaie de

marcher plus vite, l'allure devient peu régulière et la consommation plus forte.

Montrons maintenant, par quelques exemples, qu'au delà d'une certaine limite les hauts-fourneaux de dimensions *extra* n'offrent, en effet, aucun avantage. Citons d'abord le troisième haut-fourneau, mentionné dans le tableau du § 21, celui d'Ormesby de 1867. Il a $23^{m},20$ de hauteur pour 584^{m^3} de capacité intérieure. Son profil (*fig.* 8, Pl. I) comparé à celui du four de Clarence de 1866 (*fig.* 6) est relativement *trappu* et renflé au ventre. Eh bien, malgré son volume et sa production presque doubles, il ne consomme pas moins que ce dernier, pour des minerais et une fonte identiques. C'est, par kilogramme de fonte, $0^{k},987$ de carbone, contre $0^{k},990$, et cela malgré une différence de température de vent de 295 degrés (780° au lieu de 485°); ainsi, consommation identique, tout en recevant 311 calories de plus par le vent (913 contre 602). C'est évidemment l'indice d'une marche *moins* favorable; et, en effet, cela ressort de tous les chiffres du tableau précité.

La valeur du rapport *m* est plus faible, 0,542 contre 0,6865; le carbone brûlé dans la zone de réduction est plus abondant, $0^{k},105$ au lieu de $0^{k},058$; la chaleur développée par kilogramme de carbone est plus faible, 3593 calories à Ormesby, pour 3854 calories à Clarence-Works; les gaz quittent le fourneau à une température plus élevée, 412° contre 332°, aussi la chaleur sensible emportée par les gaz est-elle de 646 calories contre 545; la chaleur développée dans la zone de réduction est plus faible, malgré l'excès de carbone brûlé, 1365 au lieu de 1511 calories; enfin, malgré une consommation presque identique, la chaleur totale de combustion est plus faible dans le fourneau d'Ormesby, 3546 calories contre 3816 calories, d'où l'on peut conclure que si l'on n'y avait remédié par un vent plus chaud la consommation eut grandi d'autant. Ainsi tout concourt à mon-

trer que le grand four d'Ormesby a une marche moins économique que celui de Clarence-Works.

On peut attribuer cela, il est vrai, au profil *plus renflé* du premier; mais ce profil lui-même est une conséquence de l'exagération du volume, de sorte qu'en définitive, on est bien obligé d'en conclure qu'au delà d'une certaine limite, l'*agrandissement des hauts-fourneaux peut non-seulement ne pas être avantageux*, *mais même devenir onéreux*.

Cette conclusion ressort aussi des faits suivants, dont les éléments se trouvent également dans le mémoire de M. Bell (32me et 33me sections).

Cet habile maître de forges possède lui-même à Clarence-Works plusieurs hauts-fourneaux, tous d'une même hauteur de 80 pieds ($24^m,40$), mais dont les capacités sont respectivement de 11500, 15500 et 25500 pieds cubes (330, 440 et 700^{m^3}. *Voy.* § 2).

Or, il n'a pu constater aucune différence appréciable entre les résultats fournis par ces trois types; ou plutôt c'est le moins volumineux, celui de 330^{m^3}, dont le profil est le plus *élancé*, qui semble le mieux marcher, car c'est lui dont l'allure se rapproche le plus de la marche *idéale*.

On a trouvé, en effet, pour ces trois types, les valeurs suivantes du rapport m :

PLUSIEURS FOURNEAUX DE 11500 P. C.	FOUR DE 15500 P. C.	FOUR DE 25500 P. C
$m = 0,698$ $m = 0,627$ $m = 0,686$ Moyenne. 0,670	$m = 0,560$	$m = 0,637$

M. Ed. Williams, qui dirige à Eston les nombreux hauts-fourneaux de MM. Bolckow et Vaughan, mesurant 15000 20000 et 27000 pieds cubes, tous alimentés de la même façon, et d'une hauteur uniforme de 95 pieds (29^m) (*fig.* 7

et 9, Pl. I), déclare d'autre part (33me section du mémoire précité), *qu'il n'a pu constater la moindre économie au profit des grands fourneaux.* Il conclut de sa longue expérience, qu'au delà de 11 à 12000 pieds cubes de volume (300 à 350$^{m^3}$), les grands hauts-fourneaux du Cleveland n'offrent réellement aucun avantage au point de vue du combustible consommé.

Observons encore que les hauts-fourneaux d'Eston ont 15 pieds (4^m,60) de plus en hauteur que ceux de Clarence-Works, et que malgré cela ils ne brûlent pas moins de coke, et n'abandonnent pas les gaz du gueulard à une température inférieure.

Enfin, une dernière remarque au sujet des grands fourneaux de Clarence-Works et d'Eston.

J'ai déjà cité, dans le § 2, les trois types de Clarence, et les deux fours extrêmes d'Eston, *fig.* 7 et 9 (Pl. I), de 15000 et 27000 pieds cubes (430 et 736$^{m^3}$); on y constate l'égalité de consommation de 1125 kilog. de coke par tonne de fonte; mais cette égalité n'est en réalité obtenue que grâce à la marche plus lente des grands fourneaux qui exigent 11$^{m^3}$,7 et 14$^{m^3}$ par tonne, au lieu de 8 et 9$^{m^3}$. Si donc on voulait faire produire aux grands fourneaux proportionnellement autant de fonte qu'aux petits on arriverait infailliblement à une consommation plus forte; donc en réalité la marche des fourneaux *monstres* est moins avantageuse. On ne peut échapper à cette alternative : *production moindre par mètre cube, ou consommation plus forte.* Cette même conclusion ressort encore des deux hauts-fourneaux de Ferry-Hill, déjà mentionnés comme les précédents dans le § 2.

L'un d'eux mesure. . . . 24^m,4 et 453$^{m^3}$ de capacité.
L'autre. . . . . 31^m,5 et 935$^{m^3}$ de capacité.

Le premier exige 9$^{m^3}$ par tonne de fonte, le second 12$^{m^3}$. Or, malgré la grande différence de hauteur, les gaz s'échap-

pent du grand fourneau à une température qui n'est inférieure que de 6 degrés à celle du four moins élevé (191° au lieu de 197°) et la consommation est sensiblement la même dans les deux, savoir 1025 kil. de coke par tonne de fonte dans le moins haut, et environ 1000 kil. dans l'autre (*).

Maintenant à quelle cause faut-il attribuer cette apparente anomalie de hauts-fourneaux dont les gaz ne changent plus de température à partir d'une certaine hauteur limite, qui semble être de 23 à 24 mètres dans les conditions des usines de Cleveland? C'est une question qu'il importe d'examiner.

§ 24. ***Au delà d'une certaine hauteur, la température des gaz du gueulard ne baisse plus à cause du dédoublement de l'oxyde de carbone.*** — On sait que le courant gazeux des hauts-fourneaux, qui ne se compose d'abord que d'azote et d'oxyde de carbone, se charge, en montant, de quantités croissantes d'acide carbonique, et même de vapeur d'eau lorsque le minerai et le combustible sont humides ou chimiquement hydratés. L'action réductrice de l'oxyde de carbone se trouve donc partiellement neutralisée, dans les régions supérieures des hauts-fourneaux, et l'on conçoit qu'un certain mélange de CO, CO^2, et HO demeure sans action sur l'oxyde de fer. Ainsi M. Debray a montré que le peroxyde est simplement transformé, au rouge intense, en protoxyde, par un mélange formé de volumes égaux de CO et CO^2, et que pareil mélange ramène, d'autre part, le fer métallique à ce même degré d'oxydation. M. L. Bell a, de son côté, vérifié

(*) Dans l'un des derniers numéros du *Journal of iron and steel institute*, celui de novembre 1871, M. Bell, revenant sur le même sujet, résume ainsi ses conclusions, en ce qui concerne les hauts-fourneaux du Cleveland : « A partir d'un certain volume, 15000 p. « c. (430^{m3}) par exemple, les gaz du gueulard sont aussi froids et « aussi riches en acide carbonique que ceux d'un fourneau de ca- « pacité double (p. 391). »

cette double réaction. Or ce mélange à volumes égaux correspond, en poids, au rapport,

$$m = \frac{CO^2}{CO} = \frac{1.529}{0.967} = 1.581.$$

Toutes les fois donc que l'acide carbonique atteindra ce rapport, dans les gaz des hauts-fourneaux, la réduction ne pourra dépasser le protoxyde, et, si le courant gazeux renferme en outre de la vapeur d'eau, la réduction s'arrêtera même avant que le rapport m n'égale cette valeur de 1.581.

De plus, il faut un certain temps, une action *prolongée* du mélange des deux gaz, pour réduire du minerai en *morceaux*, dès que leur température n'est pas fort élevée.

Or les minerais ne séjournent que peu d'heures dans les régions supérieures des hauts-fourneaux; par suite, ils seront peu modifiés par les gaz dès que l'acide carbonique y abonde. Ainsi M. Bell a constaté que, dans les fourneaux du Cleveland, où la valeur de m varie entre 0,50 et 0,70, la réduction est presque nulle au voisinage du gueulard. A la température de la fusion du zinc (vers 417°), lorsque les gaz renferment 31 volumes de CO^2 sur 100 de CO, ce qui correspond à $m = 0,49$, il faut :

5 heures pour enlever au minerai 1,9 p. 100 de l'oxygène contenu,
et 10 heures 1/2 pour enlever 2,9 p. 100 de l'oxygène contenu(*).

et lorsque les gaz se composent de 50 volumes de CO^2 sur 100 de CO, ce qui donne $m = 0,79$, on ne peut même entraîner en 5 heures et demie que 0,9 p. 100 de l'oxygène total.

On voit donc que, même lorsque les gaz sont *secs et chauds*, comme dans les usines du Cleveland, la réduction est réellement insignifiante au niveau du gueulard; par

(*) Section 33 du mémoire précité.

suite, il doit en être ainsi *à fortiori*, là où les minerais sont plus ou moins hydratés ou carbonatés. C'est, en effet, ce que MM. Ebelmen et Tunner ont reconnu depuis longtemps. Dans les expériences d'Eisenerz, M. Tunner a constaté que la réduction *commence*, lorsque le rapport de $\frac{CO^2}{CO}$ est voisin de 2, mais que le fer métallique n'apparaît que là où m descend à 0,70, vers 23 pieds au-dessous du gueulard (*).

Il est certain néanmoins que si, dans les régions supérieures des hauts-fourneaux, il n'y avait d'autre réaction chimique que la réduction partielle du minerai de fer par CO, réduction qui s'opère, comme on sait (§ 11), presque sans changement de température, il devrait y avoir avantage réel à hausser les fourneaux, dès que les gaz conservent encore auprès du gueulard une température voisine de 3 à 400 degrés. On arriverait certainement ainsi à un refroidissement plus complet des gaz et, par suite, à une meilleure utilisation de la chaleur produite. Mais il est une autre réaction qui se produit toujours dans les parties supérieures des hauts-fourneaux, c'est celle du *dédoublement de l'oxyde de carbone*. Or, c'est précisément cette transformation de $2CO$ en $CO^2 + C$, qui fait qu'à partir d'une certaine limite on ne peut plus *abaisser la température des gaz d'une manière sensible, malgré la surélévation des fourneaux.*

M. L. Bell a le premier signalé cette singulière réaction des minerais sur les gaz des hauts-fourneaux et, depuis lors, j'en ai étudié avec quelque soin les principales circonstances. Les résultats auxquels m'a conduit cette étude ont été communiqués à l'Académie des sciences, en juillet 1871, et le mémoire lui-même vient de paraître, dans le *Recueil des savants étrangers*, et dans le numéro de mai des

(*) Mémoire publié à Leoben en 1859.

Annales de physique et de chimie (*). J'en transcris ici les conclusions :

1° Si l'on fait passer de l'oxyde de carbone sur du minerai de fer porté à la température de 3 à 400 degrés, l'oxyde de fer est progressivement réduit, à partir de la surface extérieure de chaque fragment. Or, dès qu'une portion quelconque de la croûte externe de ces morceaux se trouve amenée à l'état métallique, le minerai se fissure dans tous les sens, foisonne beaucoup et se couvre de carbone pulvérulent. Cette réaction se produit d'ailleurs quel que soit le mode de préparation de l'oxyde de carbone.

2° A mesure que la réduction approche de son terme, le dépôt charbonneux devient moins abondant, et cesserait même de se produire, à partir du moment où l'oxyde de fer est complétement réduit, si toutefois cette réduction *absolue* pouvait se réaliser dans les conditions de nos expériences. En tout cas il faudrait pour cela un temps fort long.

3° En faisant passer de l'oxyde de carbone sur du fer métallique, à la température de 3 à 400 degrés, ce fer se couvre également de carbone pulvérulent, dès que l'action réductrice de l'oxyde de carbone se trouve *partiellement tempérée*, soit par la présence d'une faible proportion d'acide carbonique, soit par celle d'une source quelconque d'oxygène pouvant transformer en acide carbonique une minime partie de l'oxyde de carbone lui-même.

4° Par contre l'oxyde de carbone pur et sec abandonnera au fer métallique d'autant moins de carbone que ce dernier sera plus complétement exempt de tout mélange d'oxyde, en sorte que la réaction serait probablement nulle vers 300 à 400 degrés, si l'expérience pouvait être faite sur du fer *absolument privé de tout mélange d'oxyde.*

5° Le carbone pulvérulent qui se dépose, soit sur les minerais au moment de leur réduction, soit sur le fer mé-

(*) Année 1872.

tallique lorsque l'oxyde de carbone agit de concert avec une faible dose d'acide carbonique, est une sorte de *carbone ferrugineux*, un véritable composé de carbone et de fer, tenant au maximum 5 à 7 p. 100 de fer métallique. Ce carbone diffère à la fois de celui de l'acier et du graphite hexagonal de la fonte grise.

Enfin, ce carbone ferrugineux renferme toujours aussi une faible dose de *fer oxydé*, en majeure partie *magnétique*, dont le rôle semble essentiel dans la réaction qui provoque le dépôt de ce carbone.

6° L'acide carbonique agit comme oxydant sur le fer. Mais, à la température de 3 à 400 degrés, l'action est peu intense. Il ne se produit qu'une faible dose, en proportions variées, de peroxyde, oxyde magnétique et protoxyde de fer, et ces oxydes ne sont jamais accompagnés d'un dépôt de carbone.

7° La formation du *carbone ferrugineux* est le résultat d'une sorte de dédoublement de l'oxyde de carbone : $2CO$ se transformant en $CO^2 + C$; mais cette réaction ne se produit, en dernière analyse, jamais *directement*. Il faut, pour qu'elle se manifeste, la *présence simultanée du fer métallique et du protoxyde de fer :* le fer métallique pour fixer le carbone ; le protoxyde de fer, pour retenir momentanément l'oxygène.

Mais cette réoxydation passagère du protoxyde, qui s'oppose par cela même à sa réduction finale, ne peut se produire que si l'action réductrice de l'oxyde de carbone est *partiellement tempérée* par l'acide carbonique. C'est, je le répète, la condition *sine qua non* du dépôt de carbone. Cette double réaction se trouve exprimée par les formules

$$3FeO + CO = Fe^3O^4 + C \text{ (ce carbone étant uni au fer)}$$

et

$$Fe^3O^4 + CO = 3FeO + CO^2,$$

et ainsi de suite indéfiniment, pourvu que l'oxyde de car-

bone soit toujours tempéré, dans son action réductrice, par une certaine dose d'acide carbonique.

En un mot, l'oxyde de carbone *pur* n'est pas dédoublé par le fer absolument privé de tout élément oxydé. De même, l'acide carboniqne, s'il agit *seul* sur le fer, ne fournit pas davantage du carbone ferrugineux. Enfin les *deux gaz réunis*, pourvu que l'oxyde de carbone soit en excès, produisent en abondance du *carbone ferrugineux*, par leur action simultanée sur le fer métallique, à la température faible de 3 à 400 degrés C.

8° Le fer spathique, ou le protoxyde de fer, est rapidement transformé en oxyde magnétique sous l'action de l'acide carbonique, et cela sans aucun dépôt de carbone, tandis que l'oxyde de carbone, dans les mêmes circonstances, dépose promptement beaucoup de carbone ferrugineux.

9° Si, dans les expériences qui donnent du carbone ferrugineux, on élève la température jusqu'au rouge vif, le dépôt de carbone cessera aussitôt; bien plus, le carbone antérieurement déposé sera de nouveau brûlé, toutes les fois, du moins, qu'il se trouvera encore en présence d'une proportion suffisante d'oxyde non réduit.

Sous ce rapport, les réactions sont tout autres à la température de 3 à 400 degrés et au rouge vif.

10° Au point de vue de la théorie des hauts-fourneaux, il est à remarquer que le carbone doit se déposer sur le minerai dans la partie supérieure des fourneaux, et que ce carbone pulvérulent, par son mélange intime avec l'oxyde de fer, doit faciliter la réduction ultérieure du minerai et celle de l'acide carbonique dans les régions moyennes des hauts-fourneaux.

En tout cas, par suite de cette réaction, le carbone déposé sera de nouveau brûlé avant de parvenir à la zone de fusion.

11° Le dédoublement de l'oxyde de carbone se fait avec

développement de chaleur. A chaque unité de carbone déposé correspond un dégagement de 3134 calories.

Au résumé qui précède, j'ajouterai deux observations :

Le dédoublement de l'oxyde de carbone ne se produit plus lorsqu'on fait agir sur l'oxyde de fer un mélange de *volumes égaux* de CO et de CO^2, c'est-à-dire lorsque $m = 1.581$; c'est qu'alors, d'après l'expérience de M. Debray, il ne se forme que du protoxyde de fer, tandis que le fer métallique est nécessaire pour provoquer le dépôt du charbon floconneux. Si l'on prend, au contraire, 2 volumes de CO pour 1 de CO^2, ce qui correspond au rapport $m = 0{,}79$ alors le carbone *commence* à se déposer, parce qu'alors aussi le fer métallique tend à apparaître, pourvu toutefois que le courant gazeux soit assez rapide pour entraîner sans retard l'acide carbonique formé.

Ma seconde observation est relative au dégagement des 3134 calories, dues au dépôt du carbone floconneux. C'est là, en ce qui concerne la température propre des gaz et la hauteur limite des hauts-fourneaux, le point essentiel du phénomène en question. La chaleur produite par la combustion proprement dite de 2C en 2CO est, comme on sait, de $2 \times 2473 = 4946$ calories. D'autre part, lorsque la moitié de 2C se transforme en CO^2, la chaleur développée est de 8080 calories ; donc le dédoublement de 2CO en $C + CO^2$ met bien réellement en liberté $8080 - 4946 =$ 3134 calories.

On peut en conclure que, lorsque les gaz du gueulard ont une température de 3 à 400 degrés et une composition telle que le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ soit plus petit que 0,80, il y aura non-seulement réduction partielle du minerai, mais encore *imprégnation et dépôt de charbon floconneux*, avec dégagement notable de chaleur, d'où résulte alors une sorte d'état stationnaire, sans refroidissement ultérieur des gaz, malgré l'exhaussement plus grand des fourneaux.

Voici, en réalité comment les choses se passent.

Dans la partie haute des fourneaux deux réactions différentes se produisent en même temps : d'une part, le minerai est réduit par CO donnant CO^2 sans changement sensible de température; d'autre part, 2 CO se transforment en $C + CO^2$ avec production de 3134 calories. Le carbone C, provenant de ce dédoublement, est restitué à la charge sous forme pulvérulente; il descend avec elle, puis reforme de l'oxyde de carbone dans les régions inférieures plus chaudes. Le gaz CO, ainsi reproduit, remonte de nouveau, et sera à son tour dédoublé en $\left(\frac{1}{2}C + \frac{1}{2}CO^2\right)$. La même réaction se renouvelle ainsi indéfiniment, en sorte qu'en fin de compte tout marche comme si le gaz primitif 2 CO était *directement* transformé en 2 CO^2 par l'oxygène du minerai, c'est-à-dire, comme si la réduction avait lieu uniquement, selon la marche *idéale*, par l'oxyde de carbone, sans consommation de charbon solide, et par suite sans variation sensible de température.

Le dédoublement de l'oxyde de carbone rapproche donc l'allure ordinaire de la marche *idéale;* et, par conséquent, tout ce qui pourra favoriser ce dédoublement réduira par cela même la consommation, d'où l'on pourrait conclure que l'exhaussement indéfini des fourneaux amènerait du même coup une diminution graduelle de la consommation, dont la limite extrême serait celle de la marche *idéale*.

En fait cependant, il ne saurait en être ainsi. D'abord, la hauteur des fourneaux est bornée par la résistance croissante des charges à l'entrée du vent. Ensuite, quoique la *somme* totale de chaleur dégagée dépende uniquement, pour une consommation donnée, de la valeur du rapport *m*, sa *distribution* sera surtout réglée par le *mode* de production de l'acide carbonique. Lorsque CO^2 provient du dédoublement de 2 CO, il y a *chaleur produite* dans la région *haute*, tandis qu'il y aura *refroidissement* dans la région *moyenne*,

là ou le carbone déposé est retransformé en CO par l'oxygène du minerai. Au fond il y a simple *déplacement* de chaleur, mais les gaz, ainsi réchauffés dans le haut du fourneau, céderont, faute de temps, moins de chaleur aux éléments froids du lit de fusion que si leur température avait été rehaussée, dans les régions *moyennes*, par la simple suroxydation directe de CO en CO^2 par le minerai.

L'exhaussement des fourneaux, en favorisant le dédoublement de l'oxyde de carbone, tend donc en définitive vers une sorte d'état calorifique *constant*, à partir duquel une plus grande hauteur ne doit plus offrir d'avantages sensibles.

Je n'ajouterai plus qu'une seule observation. Tout ce que je viens de dire s'applique aux hauts-fourneaux traitant uniquement, comme ceux du Cleveland, des minerais *calcinés* ou *anhydres*. Ailleurs, dans nos hauts-fourneaux à minerais hydratés par exemple, et là où l'on traite des fers spathiques incomplétement calcinés, le gueulard est beaucoup plus froid. Ainsi, je viens de citer, d'après M. Tunner, l'exemple d'Eisenerz, où le fer métallique, et avec lui le dédoublement de CO, ne commencent à apparaître que vers 23 pieds (au delà de 7 mètres) de profondeur. Or, dans les fourneaux d'une faible hauteur totale, les charges atteindront peu après la zone *très*-chaude où cette réaction cesse de nouveau. Toute surélévation des hauts-fourneaux pourra donc, dans ce cas aussi, agrandir la zone où le dédoublement tendra à se produire et amener finalement une certaine économie, en rendant les gaz plus riches en CO^2. Mais il est évident, par les motifs que je viens de développer, que là aussi il y aura une limite au delà de laquelle l'économie réelle deviendra insignifiante.

En résumé :

A partir d'une certaine hauteur, variable avec les minerais et les profils, il n'y a donc plus aucun avantage à grossir le volume des hauts-fourneaux.

§ 25. *Influence du vent surchauffé.* — Cherchons, en second lieu, à apprécier l'influence *des variations de température du vent sur l'allure des hauts-fourneaux.*

Comparons, à cet effet, les deux fourneaux de Consett, cités au tableau du § 21.

Les dimensions et les profils diffèrent peu, les charges sont les mêmes, la fonte de même nature; par contre, la température du vent est de 454°,5 dans l'un, de 718 degrés dans l'autre; la différence des résultats ne peut donc être attribuée qu'à cet écart de température de 263°,5. Le vent du premier four est échauffé dans des tuyaux ordinaires en fonte, celui du second, dans l'appareil Whitwell en briques, système Siemens. Le combustible pour le chauffage du vent est, dans les deux cas, le gaz des hauts-fourneaux.

Ce qui frappe d'abord, c'est que le gueulard est d'autant plus froid que le vent est plus chaud : 477 degrés pour le vent de 454°,5, contre 248 degrés pour le vent de 718°. C'est, au reste, le résultat, bien connu et constaté partout, de la substitution du vent chaud au vent froid. L'air chaud *refroidit le haut des fourneaux*, parce qu'une fraction plus forte de la chaleur *reçue* est due au vent. La combustion fournit moins de gaz, et ceux-ci se refroidissent davantage en traversant la même masse de matière solide.

Les différences sont grandes, à ces divers points de vue, entre les deux hauts-fourneaux.

Le four à vent surchauffé ne reçoit, par kilog.
de fonte produite, que. . . . . 3k,751 de vent
et ne fournit que. . . . . 5k,161 de gaz.
Tandis que le four à vent chaud *ordinaire*
reçoit. . . . . 5k,071 de vent
et produit. 6k,706 de gaz.

La chaleur de *combustion* dans la zone des tuyères est de 1672 calories seulement, dans le premier cas, contre 2249 calories dans le second, et cette énorme différence

n'est qu'en faible partie compensée par la chaleur *apportée* par le vent, qui atteint 643 calories contre 551 calories : différence 92 calories. Aussi la zone de fusion du four à vent chaud ordinaire reçoit-elle, malgré cela, un excès de chaleur de

$$2800 - 2315 = 485 \text{ calories};$$

et l'écart est plus fort encore entre les chaleurs *totales* reçues par les deux fourneaux ; il est de

$$4192 - 3654 = 538 \text{ calories}.$$

Or, cet excès de chaleur *reçue* par le four à vent chaud ordinaire se retrouve presqu'en entier dans la chaleur emportée par les gaz, qui est de 758 calories dans le premier fourneau contre. . . . . . . 303 calories, enlevées par les gaz du four à vent surchauffé;

soit une différence de. . . . 455 calories.

Les avantages du four à vent surchauffé ressortent auss de la valeur plus élevée du rapport $\frac{CO^2}{CO} = m$, qui est de 0,623 au lieu de 0,502. Le charbon y brûle plus utilement; et cette différence doit certainement provenir de ce que la température moins élevée de la zone de réduction tend à provoquer, d'une façon plus active, le dédoublement de l'oxyde de carbone.

En définitive, l'emploi du vent *surchauffé* offre à Consett, par kilogramme de fonte produite, une économie de $1^k,0055 - 0^k,789 = 0^k,2165$ de carbone pur, économie qui ne résulte qu'en faible partie du fait de la chaleur *apportée directement* par le vent surchauffé (*) ; elle est surtout due à

(*) L'excès de chaleur apportée par le vent surchauffé est de 92 calories; il remplace seulement $\frac{92}{2473} = 0^k,037$ de carbone brûlé aux tuyères.

la *distribution* plus utile de la chaleur, occasionnant un refroidissement plus énergique des gaz, et à la combustion plus avancée du carbone, développant par kilogramme 3816 calories, dans le cas du vent surchauffé, contre 3621 calories dans le cas du vent chaud ordinaire.

Ainsi les avantages d'un chauffage énergique du vent sont considérables, et cela sans aucune altération dans la nature des produits obtenus, du moins lorsqu'il s'agit de minerais ordinaires.

Reste à savoir si, sous ce rapport, il n'y a d'autre limite que celle de la possibilité pratique.

Pourrait-on impunément chauffer le vent à 800, 900, 1000 degrés, etc., et chaque surélévation de la température sera-t-elle accompagnée d'une réduction équivalente, sur le charbon consommé?

Au fond, l'expérience seule peut prononcer. Toutefois, en partant des faits déjà acquis, on peut, jusqu'à un certain point, se rendre compte de ce qui arriverait en surchauffant davantage encore l'air des tuyères.

A mesure que le vent est plus chaud, la température baisse au gueulard; c'est un fait universellement constaté, que l'expérience de Consett vient encore de confirmer. L'air chaud agit sous ce rapport comme l'exhaussement des fourneaux; mais le dédoublement de l'oxyde de carbone oppose une limite à ce refroidissement.

D'après les résultats donnés par les fourneaux les plus élevés du Cleveland, il ne semble pas que la température au gueulard puisse notablement descendre au-dessous de 200° C. Je parle toujours, bien entendu, de fourneaux alimentés par des minerais calcinés comme ceux du Cleveland, et non d'appareils traitant des minerais hydratés ou carbonatés.

Au fourneau le plus élevé du Cleveland, celui de Ferry-Hill, de 31^{m},5 mètres de hauteur, la température est encore de 191° C.; et dans cette usine on charge cependant des

minerais qui ont subi un transport de 65 kilomètres *après* leur calcination, ce qui doit occasionner, dans les circonstances ordinaires, une certaine absorption d'humidité. J'admettrai donc, comme limite inférieure, dans les conditions du Cleveland, une température des gaz du gueulard de 200° C.

Une autre conséquence de l'emploi de l'air très-chaud, comme de l'exhaussement des fourneaux, est l'accroissement graduel de la valeur de *m*. On se rapproche de la marche *idéale*, et l'on a vu, en effet, par l'exemple de Consett, le rapport *m* monter de 0,502 à 0,623. A mesure que le vent est plus chaud, on brûle moins de carbone au niveau de la tuyère ; donc la masse de CO, produite sur ce point, diminue. Or, comme l'oxygène du minerai reste constant, il arrivera de deux choses l'une : ou bien l'acide carbonique ira croissant et l'on atteindra bientôt la limite où l'oxyde de carbone ne se dédouble plus — ce qui correspond à $m = 0,80$ — ; peu après on arrivera même à la marche *idéale*, marquée par $m = 1,217$ (§ 5); ou bien l'excès de CO^2, dans la région de réduction, agira sur le carbone solide, et, tandis que la consommation diminuera auprès de la tuyère, elle croîtra dans la région de réduction ; ou plutôt, en général, les deux effets seront simultanés; on verra grandir concurremment le rapport *m* et la quantité de carbone brûlé dans la région de réduction. C'est là ce qui précisément peut se constater à l'usine de Consett. En comparant le haut-fourneau à vent ordinaire au haut-fourneau à vent surchauffé, on voit non-seulement *m* passer de 0,502 à 0,623, mais encore le carbone, brûlé dans la zone de réduction, monter de $0^k,096$ à $0^k,113$. Eh bien! en partant de la consommation observée à Consett, on peut, pour des quantités successivement décroissantes de carbone brûlé à la tuyère, et des valeurs croissantes de *m*, calculer facilement les températures à donner au vent, ainsi que le carbone brûlé par l'acide carbonique dans la zone de réduction.

Je supposerai d'abord au rapport m la valeur constante 0,623, chiffre constaté à Consett, lorsque le vent y est chauffé jusqu'à 718 degrés.

On a vu que, dans ce cas, le carbone brûlé au niveau de la tuyère est de $0^k,789 - 0^k,113 = 0^k,676$. Supposons ce poids successivement réduit à $0^k,650$ et $0^k,600$. Calculons, dans ces conditions, le carbone brûlé dans la zone de réduction, et cherchons la température à laquelle il faudrait chauffer le vent pour procurer au fourneau la chaleur *nécessaire* à sa marche.

On connaît l'oxygène total fourni aux gaz du haut-fourneau; il se compose de l'oxygène enlevé au lit de fusion et de celui qu'apporte le vent. Or cette somme devra être égale à l'oxygène total de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique du gaz, c'est-à-dire $= \frac{4}{7}y + \frac{8}{11}my$, d'après les notations du § 7. Cette relation nous permettra de calculer les valeurs de y et de my, et par suite, le carbone total contenu dans les gaz.

L'oxygène du lit de fusion est donné par la formule (3) du § 7 :

$$d = \frac{8}{3}b + \frac{1}{7}(3,03);$$

mais il convient de remarquer que le terme $\frac{1}{7}(3,03)$, qui représente l'oxygène du minerai, se compose de deux parties: l'oxygène abandonné dans la zone de réduction $= \frac{1}{7}(2,82) = 0^k,403$, et l'oxygène enlevé, auprès des tuyères, par l'action directe du carbone, $= \frac{1}{7}(0,21) = 0^k,030$.

L'oxygène apporté par le vent est déterminé par le carbone brûlé auprès des tuyères. Or, un de carbone se combine avec $\frac{4}{3}$ d'oxygène pour former de l'oxyde de carbone ; si donc le

poids du carbone est de $0^k,650$, nous aurons pour l'oxygène correspondant $\frac{4}{3} \times 0,650 = 0^k,867$, dont $0^k,030$ sont fournis par le lit de fusion et $0^k,837$ par le vent.

Appliquons ces principes au fourneau de Consett n° 4 (§ 20), où le carbone du calcaire

$$b = 0^k,0485.$$

Nous aurons pour l'oxygène total :

$$0^k,867 + 0^k,403 + \frac{8}{3}(0^k,0485) = 1^k,399$$

et par suite, on a l'équation :

$$\frac{4}{7}y + \frac{8}{11}my = 1^k,399;$$

ou bien, puisque $m = 0,623$,

$$\left(\frac{4}{7} + \frac{8}{11} \times 0,623\right) y = 1^k,399,$$

d'où CO ou $y = \frac{77 \times 1,399}{44 + 56 \times 0,623} = 1^k,365$

et CO^2 ou $my = 0,623 \times 1^k,365 = 0^k,850.$

Or, l'oxyde de carbone y renferme $\frac{3}{7} \times 1,365 = 0^k,585$ de carbone,

et l'acide carbonique my renferme $\frac{3}{11} \times 0,850 = 0^k,232$ de carbone;

donc, carbone total des gaz, ou p. . . . . . . $= 0^k,817$

et comme le carbone brûlé à la tuyère et celui fourni par le calcaire sont $= 0,650 + 0,0485 = 0^k,6985$

on a, pour le carbone brûlé dans la zone de réduction. $0^k,1185$

Du carbone total on peut déduire la chaleur de combustion :

L'oxyde de carbone développe $0,585 \times 2473 = 1446$ cal.
L'acide carbonique provenant du coke
$(0^k,232 - 0^k,0485) \times 8080 = 0^k,1838 \times 8080 = 1483$

Soit chaleur de combustion. . . . . 2929 cal.

Admettons maintenant que la chaleur *absorbée* soit la même que celle qui a été constatée au four n° 4 de Consett (§ 20), c'est-à-dire de 3654 calories, le vent aurait alors à apporter 725 calories au lieu de 643.

En réalité cependant, la chaleur absorbée sera moindre parce que le poids des gaz sera plus faible, et que leur température sera en outre un peu abaissée. On trouvera pour cette différence une valeur maximum, en admettant que l'on arrive à la limite de refroidissement de 200 degrés ci-dessus indiquée.

Le poids des gaz est le suivant :

my ou CO^2.	$= 0^k,850$	
y ou CO.	$= 1,365$	
Azote $3,33 \times 0^k,837 \times 0,97677$	$= 2,722$	l'oxygène x du vent étant $= 0^k,837$.
Poids des gaz secs.	$4,937$	
Eau provenant du coke.	$0,022$	
Poids des gaz humides.	$4^k,959$	au lieu des $5^k,161$ du § 20.

Donc la chaleur emportée par les gaz serait de :

$$4^k,959 \times 200^\circ \times 0,237 = 235 \text{ calories}$$

au lieu des 303 calories trouvées au § 20. La chaleur *absorbée*, ou *nécessaire*, serait donc diminuée de 68 calories, et ainsi ramenée de 3654 à 3586 calories.

Admettons ce chiffre, quoiqu'en réalité il soit plutôt faible, parce que les gaz quitteront sans doute le fourneau à une température encore quelque peu supérieure à 200 degrés.

Le vent aurait donc à fournir au moins :

$$3586 - 2929 = 657 \text{ calories,}$$

et, comme le poids du vent est, d'après les formules du § 7, de :

$$0^k,837 \times 4,33 \times 0,9828 = 3^k,562,$$

on aurait pour la température minimum du vent :

$$\frac{657}{3,562 \times 0,239} = \frac{657}{0,851} = 772°.$$

Calculons encore la chaleur développée dans la zone de *réduction* ; elle est égale à la chaleur de combustion *totale* 2929 calories, moins la chaleur développée, auprès de la tuyère, par la combustion des $0^k,650$ de carbone, qui est de. . . . . $0^k,650 \times 2473 = 1607$ calories,
donc il reste, pour la chaleur de la zone
de réduction. 1322

Somme égale. . . . 2929 calories.

Or, d'après le tableau résumé du § 21, la chaleur de combustion dans la zone de réduction du four n° 4 de Consett est de 1339 calories. Ainsi, comme je l'ai déjà fait remarquer, à mesure que la température du vent s'élève, la chaleur de combustion diminue dans la zone de réduction, et cela, malgré l'accroissement de carbone consommé dans cette région, qui monte ici de $0^k,113$ à $0^k,1185$.

Reprenons les mêmes calculs pour le cas où le carbone brûlé auprès de la tuyère se trouverait réduit à $0^k,600$.

L'oxygène correspondant est de $\frac{4}{3} \times 0,600 = 0^k,800$, et comme $0^k,030$ sont fournis par le lit de fusion, il en reste pour le vent $0^k,770$; et par suite, l'oxygène total sera :

$$0,800 + 0,403 + \frac{8}{3}(0,0485) = 1^k,332,$$

ce qui donne :

CO ou $y = \dfrac{77 \times 1,332}{78,088} = 1^k,300$ contenant carbone $0^k,557$
et CO^2 ou $my = 1,300 \times 0,623 = 0,810$ contenant carbone 0 ,221

D'où, carbone total des gaz. . . . . 0 ,778
Carbone brûlé à la tuyère, et fourni par le calcaire. . . . 0 ,6485

D'où, carbone brûlé dans la zone de réduction. . . . . . . $0^k,1295$

La chaleur de combustion est d'après cela, de :

Par CO, $0,557 \times 2473$. . . . . = 1377 cal.
Par CO^2, $(0,221 - 0,0485) \times 8080 = 0,1825 \times 8.080 = 1394$

Total. . . . . 2771 cal.

Pour trouver la somme de chaleur *nécessaire* au fourneau, calculons la chaleur emportée par les gaz, en admettant, comme ci-dessus, qu'ils soient refroidis jusqu'à la limite extrême de 200 degrés C.

Les gaz se composent de :

my ou CO^2.	= $0^k,810$	
y ou CO.	= 1 ,300	
Azote = $3,33 \times 0,770 \times 0,97677$	= 2 ,504	d'après la formule du § 7.
Poids des gaz secs.	= 4 ,614	
Eau provenant du coke.	= 0 ,021	
Poids des gaz humides.	= $4^k,635$	

d'où, chaleur emportée par les gaz :

$$4,635 \times 200^\circ \times 0,237 = 220 \text{ calories,}$$

au lieu des 303 calories du § 20.

La chaleur *nécessaire* se trouve ainsi réduite de 83 calories, et par suite ramenée à 3571 calories.

Le vent aurait donc à fournir $3571 - 2771 = 800$ calories. Or le poids du vent est, d'après le § 7, $= 0,770 \times 4,33 \times 0,9828 = 3^k,277$, d'où pour la température du vent :

$$\frac{800}{3,277 \times 0,239} = \frac{800}{0,783} = 1022^\circ.$$

Calculons enfin la chaleur développée dans la zone de réduction :

On a, chaleur de combustion totale. . . . . 2771 cal.
Chaleur développée auprès des tuyères $0,600 \times 2473 = 1484$

D'où, chaleur développée dans la zone de réduction. . . 1287 cal.

Rapprochons maintenant, dans un tableau résumé, des données de la marche réelle du fourneau de Consett n° 4, les résultats que nous venons de trouver dans l'hypothèse de l'invariabilité du rapport $m = 0,623$.

Carbone brûlé à la tuyère. . . .	kilog. 0,676 (marche réelle).	kilog. 0,650 (marche hypothétique).	kilog. 0,600 (marche hypothétique).
Carbone brûlé dans la zone de réduction.	kilog. 0,113	kilog. 0,1185	kilog. 0,1295
Carbone total consommé, y compris les $0^k,030$ pris par le fer.	0,819	0,7985	0,7595
Chaleur développée dans la zone de réduction..	calories. 1339	calories. 1322	calories. 1287
Chaleur développée auprès des tuyères.	1672	1607	1484
Chaleur totale de combustion. .	3011	2929	2771
Chaleur apportée par le vent.. .	643	657	800
Chaleur totale *reçue*, ou *nécessaire*, des fourneaux.	3654	3586	3571
Température des gaz.	degrés. 248	degrés. 200	degrés. 200
Température du vent.	718	772	1.022
Poids du vent.	kilog. 3,751	kilog. 3,562	kilog. 3,277

Ce tableau nous montre qu'à partir d'une certaine limite de température, les avantages de l'air *surchauffé* deviennent de moins en moins considérables ; et ce fait est dû à plusieurs causes :

1° La masse du vent diminue à mesure que la température croît.

2° Le refroidissement des gaz du gueulard, d'abord très-rapide, est ensuite limité par le dédoublement plus largement développé de l'oxyde de carbone.

3° Enfin, le rapport *m*, que j'ai supposé constant à partir de la température de 718 degrés, ne peut, en effet, pas grandir au delà d'un certain maximum, par les motifs précédemment exposés, ce qui limite la chaleur développée dans la zone de réduction.

Il en résulte que si, dans les conditions des usines du Cleveland, il y a grand avantage à porter la température

du vent de 400 à 700 degrés C., il n'y a plus, à beaucoup près, un égal avantage à y ajouter encore 300 autres degrés, c'est-à-dire à chauffer le vent jusqu'à 1000 degrés.

Il me reste à montrer que ces conclusions seraient peu modifiées, si le rapport m pouvait atteindre la valeur 0,70 et même 0,80, qui est celle où l'oxyde de carbone cesse de se dédoubler.

Reprenons à cet effet les mêmes calculs dans l'hypothèse de ces nouvelles valeurs de m, et voyons d'abord quels seraient les changements produits dans la marche du fourneau n° 4 de Consett, si la valeur de m passait de 0,623 à 0,70.

Le carbone brûlé auprès de la tuyère est de. . . . . . . $0^k,676$

L'oxygène fourni par le vent est de $\frac{4}{3} \times 0,676 - 0,030 = 0^k,871$

L'oxyde total de. . . $\frac{4}{3} \times 0,676 + 0,403 + \frac{8}{3}(0,0485) = 1^k,433$

ce qui donne

$$\text{CO ou } y = \frac{77 \times 1,443}{44 \times 56 \times 0,70} = \frac{110,341}{83,2} = 1^k,326 \left\{ \begin{matrix}\text{tenant}\\ \text{carbone}\end{matrix} \right\} 0^k,568$$

et CO^2 ou $my = 1,326 \times 0,70 = 0,928$ tenant carbone. . $0^k,253$

D'où, carbone total des gaz. . . . . $0^k,821$

Somme du carbone brûlé à la tuyère et fourni par le calcaire. . . . . $0^k,7245$

Carbone brûlé dans la zone de réduction. . . . . $0^k,0965$

La chaleur de combustion est, d'après cela, de :

Par CO $= 0,568 \times 2473$. . . . . . . $=$ 1405 cal.
Par $CO^2 = (0,253 - 0,0485) \times 8080 =$ 1652

Total. . . . . 3057 cal.

Les gaz se composent de :

my ou CO^2. . . . . =	$0^k,928$	
y ou CO. . . . . =	1 ,326	
Azote = 3,33 × 0,871 × 0,97677 =	2 ,833	D'après la formule du § 7.
Poids des gaz secs.	5 ,087	
Eau provenant du coke.	0 ,022	
Poids des gaz humides.	$5^k,109$	

La température de ces gaz différera peu de celle de la marche réelle, puisque leur poids est presque le même, $5^k,109$ contre 5,161 (§ 20).

La chaleur emportée par les gaz sera par suite de :

$5^k,109 \times 248° \times 0,237 = 300$ calories au lieu de 303.

La chaleur *nécessaire* sera donc diminuée de 3 calories, ce qui la porte à.	3651 cal.
Or comme la chaleur de combustion est de.	3057
Il reste pour la chaleur du vent.	594 cal.

Mais le poids du vent humide est, d'après le § 20, de $3^k,751$, d'où pour la température du vent :

$$\frac{594}{3,751 \times 0,239} = 662° \text{ au lieu de } 718°,$$

c'est-à-dire, comme on devait s'y attendre, toute élévation du rapport *m* permet un abaissement de la température du vent, ou alors engendre, à consommation égale, une chaleur sensible plus grande des gaz.

Évaluons encore la chaleur développée dans la zone de réduction :

On a chaleur de combustion totale.	3057 cal.
Chaleur développée auprès des tuyères 0,675 × 2473 =	1672
D'où, chaleur developpée dans la zone de réduction. . .	1385 cal.

On peut calculer de la même manière les éléments qui se rapportent aux cas où le carbone, brûlé auprès de la

tuyère, descend à $0^k,650$ et $0^k,600$. Pour abréger, je me bornerai à les résumer immédiatement dans le tableau suivant. Je dirai seulement que j'ai supposé comme ci-dessus que les gaz s'écoulent du gueulard à la température limite de 200 degrés. On trouve alors, dans l'hypothèse de $m = 0,70$:

	kilog.	kilog.	kilog.
Carbone brûlé à la tuyère....	0,676	0,650	0,600
Carbone brûlé dans la zone de réduction.	0,0965	0,1035	0,1145
Carbone total consommé, y compris les $0^k,030$ pris par le fer.	0,8025	0,7835	0,7445
	calories.	calories.	calories.
Chaleur développée dans la zone de réduction.	1385	1369	1329
Chaleur développée auprès des tuyères.	1672	1607	1484
Chaleur totale de combustion..	3057	2976	2813
Chaleur apportée par le vent..	594	609	757
Chaleur totale *nécessaire* des fourneaux.	3651	3585	3570
	degrés.	degrés.	degrés.
Température du gaz.	248	200	200
Température du vent.	662	715	967
	kilog.	kilog.	kilog.
Poids du vent.	3,751	3,562	3,277

Enfin je résume également, dans le tableau suivant, les éléments de la marche du fourneau de Consett, dans l'hypothèse où le rapport m irait jusqu'à 0,80, limite où l'oxyde de carbone cesse de se dédoubler. Ce cas ne paraît pas s'être présenté encore dans les usines du Cleveland, mais il importe de bien se rendre compte des effets d'une pareille marche.

La seule incertitude qui pèse sur les résultats provient de la température inconnue des gaz du gueulard. Pour les hautes températures du vent, correspondant aux faibles consommations de $0^k,650$ et $0^k,600$ de carbone brûlé aux tuyères, il est plus que probable que les gaz quittent le fourneau à la température limite de 200 degrés ; mais, lorsque la consommation atteint $0^k,676$ auprès des tuyères, il se peut que la température des gaz soit supérieure à la limite en question, ce qui entraînerait de suite une température plus

élevée pour le vent, puisque la chaleur *nécessaire* deviendrait par cela même plus forte.

Voici les résultats que donne le calcul dans cette double hypothèse de $m = 0{,}80$, et de la température des gaz $= 200$ degrés

	kilog.	kilog.	kilog.
Carbone brûlé à la tuyère. . . .	0,676	0,650	0,600
Carbone brûlé dans la zone de réduction.	0,0785	0,0865	0,0985
Carbone total consommé, y compris les $0^k,030$ pris par le fer. .	0,7845	0,7665	0,7285
	calories.	calories.	calories.
Chaleur développée dans la zone de réduction.	1442	1428	1384
Chaleur développée auprès des tuyères.	1672	1607	1484
Chaleur totale de combustion. . .	3114	3035	2868
Chaleur apportée par le vent. . .	477	549	701
Chaleur totale *nécessaire* des fourneaux.	3591	3584	3569
	degrés.	degrés.	degrés.
Température du gaz.	200	200	200
Température du vent.	561	645	895
	kilog.	kilog.	kilog.
Poids du vent.	3,751	3,562	3,277

Ces deux derniers tableaux confirment les conclusions tirées du premier.

Pour une même valeur du rapport m, le carbone brûlé dans la zone de réduction *augmente*, lorsque, par l'accroissement de la température du vent, la consommation totale, ainsi que celle qui se fait au niveau des tuyères, tendent à diminuer; et pourtant, malgré cela, la chaleur *développée* dans la zone de réduction, est d'autant moindre que le vent est plus chaud. Si l'on compare ensuite les trois tableaux entre eux, on voit que, pour arriver à la chaleur *nécessaire*, le vent doit être d'autant plus chaud que la valeur de m est plus faible; or il est évident que, toutes choses égales d'ailleurs, il sera plus économique d'atteindre cette chaleur *nécessaire* par une *bonne disposition* du fourneau, que par un vent surchauffé; en tous cas, on réalisera le maximum d'économie, *par le concours d'un vent très-chaud et d'une valeur élevée du rapport* m. Or,

cette valeur élevée du rapport *m* correspond, comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, à une certaine hauteur moyenne du fourneau, et suppose une marche d'autant plus lente que le haut-fourneau est plus volumineux, du moins dès que l'on dépasse sous ce rapport une certaine limite.

Enfin, à la question posée au commencement de ce paragraphe, s'il y a avantage à chauffer le vent jusqu'à 800, 900, 1.000 degrés, etc., on peut hardiment répondre *oui*. A chaque surélévation de la température du vent correspond une économie nouvelle, abstraction faite bien entendu de l'entretien plus considérable des appareils à air chaud; mais, en même temps, cette économie décroît rapidement avec les progrès de la température; l'économie résultant de chaque nouvelle addition de 100 degrés à la température du vent, est bien moins considérable entre 800 et 900 degrés, qu'entre 600 et 700 degrés, et surtout qu'entre 400 et 500 degrés. D'après cela, dans la pratique, il semble peu utile de dépasser la limite de 7 à 800 degrés.

§ 26. *Conclusions.* — Il est temps de résumer les conclusions successives auxquelles nous avons été conduit par les études précédentes :

1° La production des grands hauts-fourneaux, au delà du volume de 200^{m^3}, ne croît pas proportionnellement à leur capacité (§ 1).

2° Pour apprécier la marche des hauts-fourneaux, il convient de fixer par expérience le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ dans les gaz du gueulard; à l'aide de ce rapport, on peut non-seulement calculer la composition réelle des gaz, mais encore la quantité d'air que réclame le haut-fourneau (§§ 7 et 8).

3° Pour déterminer exactement le rapport $\frac{CO^2}{CO}$, il ne suffit pas de faire un certain nombre de prises *instanta-*

nées, il faut soutirer les gaz pendant plusieurs heures. Il convient, à cet effet, d'avoir recours à un appareil analogue à celui dont s'est servi M. Scheurer Kestner, dans ses analyses des produits de combustion de la houille sous les chaudières à vapeur (§ 9). (Voy. Pl. I, *fig.* 13.)

4° La composition des gaz une fois connue, il convient, pour se rendre un compte exact de la marche du haut-fourneau, d'établir la balance entre la chaleur ***reçue*** et la chaleur ***dépensée***, et d'évaluer séparément la chaleur développée dans la ***zone des tuyères*** et celle qui se produit dans la zone de ***réduction*** (§§ 10 à 15).

5° En appliquant ces principes à quelques hauts-fourneaux du Cleveland (§§ 16 à 21), on peut constater que les avantages des fourneaux ***élevés***, sur ceux d'une faible hauteur, résultent simplement de la température moins considérable des parties supérieures de la cuve. La réduction s'y fait d'une façon plus complète, par la seule action de l'oxyde de carbone, sans intervention du carbone solide ; on se rapproche de la marche ***idéale***, qui suppose le carbone solide exclusivement brûlé par l'oxygène du vent. Un avantage accessoire, mais plus direct, est dû à la moindre chaleur ***sensible*** des gaz du gueulard (§ 21).

6° La consommation des haut-fourneaux dépend en partie de leur production. La consommation ***minimum*** correspond à une vitesse ***moyenne***, qui varie d'ailleurs avec la hauteur et la capacité absolues des fourneaux (§§ 22 et 23).

7° A cause du dédoublement de l'oxyde de carbone dans la région supérieure des hauts-fourneaux, la température des gaz du gueulard ne peut s'abaisser au-dessous d'une certaine limite, et, ***par ce motif***, il n'y a aucun avantage, dès que cette limite est atteinte, à grossir encore le volume et la hauteur des hauts-fourneaux (§ 24). Une marche trop lente, et un excès de volume peuvent devenir onéreux.

8° La chaleur apportée par le vent chaud remplace avec avantage celle que développe la combustion dans la zone

des tuyères. L'économie relative, due au vent chaud, diminue cependant à mesure que la température s'élève davantage. Dans la pratique, l'économie réelle est peu considérable au delà de 700 à 800 degrés. Le vent chaud tend à élever la valeur du rapport $\frac{CO^2}{CO}$; et, par le refroidissement de la région supérieure des hauts-fourneaux, il favorise la réduction sans consommation de charbon solide, c'est-à-dire la marche *idéale* de l'appareil.

APPLICATION DE LA NOUVELLE MÉTHODE D'ANALYSE A UN HAUT-FOURNEAU FRANÇAIS.

§ 27. L'étude, dont je viens de résumer les conclusions principales, se compose de deux parties.

J'ai montré d'abord comment on peut se procurer, à l'aide d'un appareil simple, des échantillons qui représentent, malgré leur faible volume, la composition *moyenne exacte* des gaz d'un haut-fourneau, et comment, en se bornant à déterminer dans ces échantillons le rapport de CO^2 à CO, on peut néanmoins arriver à connaître, d'une façon suffisamment approximative pour la pratique, non-seulement la composition réelle de ces gaz, mais encore, d'une façon plus rigoureuse que par tout autre méthode, le poids du vent consommé par le haut-fourneau.

J'ai montré ensuite, comment, à l'aide des éléments ainsi déterminés, on peut dresser la *balance calorifique* des hauts-fourneaux, et se rendre de la sorte parfaitement compte de tous les détails de sa marche.

En appliquant enfin ces principes à quelques hauts-fourneaux anglais, et en partant d'analyses faites par M. Lowthian Bell, j'ai cherché à résoudre la question importante de la *hauteur maximum* et de la *capacité limite* des hauts-fourneaux, ainsi que celle de l'emploi du vent *surchauffé*.

Je n'ai pas besoin d'insister ici sur les avantages d'une

pareille étude analytique appliquée au travail des hauts-fourneaux. Il est temps de quitter la voie empyrique pour l'étude rationnelle.

On a pu être arrêté jusqu'à présent par les difficultés et la complication des procédés. Le mode d'analyse que je propose est simple et à la portée de tout laboratoire industriel. En attendant qu'il puisse être appliqué, en France, par moi ou par d'autres, je voudrais au moins montrer, par un exemple, comment il est possible de constater, *même sans analyse chimique*, jusqu'à quel point la marche d'un haut-fourneau s'approche ou s'éloigne de l'allure *idéale*, c'est-à-dire du *minimum* de consommation possible.

On a vu ci-dessus, combien les *anciens* hauts-fourneaux du Cleveland, de 14 à 16 mètres de hauteur, étaient loin de réaliser cette allure *idéale*; les gaz s'en échappent à une température élevée, et la proportion d'acide carbonique y est peu considérable. Le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ atteint rarement 0,40. L'exhaussement graduel des fourneaux a permis de remédier à ce double inconvénient, mais il est bien évident que là où les gaz sont froids, et le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ voisin de l'unité, l'exhaussement des hauts-fourneaux serait sans utilité; or, c'est précisément, par ces motifs, qu'il convient de déterminer le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ dans chaque cas particulier. On pourra constater ainsi, *à priori*, s'il y a ou non quelque avantage à modifier les dimensions des hauts-fourneaux. Par ces études on s'épargnerait les tentatives avortées dont j'ai parlé au § 2; des hauts-fourneaux surélevés, puis ramenés de nouveau à leurs dimensions primitives.

Nous avons en France de nombreux hauts-fourneaux au coke, de dimensions ordinaires, dont la consommation n'est pas plus forte que celle des *grands* fourneaux du Cleveland, et pourtant les minerais que l'on y traite ne sont ni plus

riches, ni plus fusibles que ceux du nord de l'Angleterre. Ces appareils gagneraient peu à être exhaussés, car déjà les gaz sont relativement froids, et la consommation peu élevée, en sorte qu'*à priori* on peut être assuré que le rapport $\frac{CO^2}{CO}$ n'est pas éloigné de l'unité. Montrons, par un exemple, que, même sans analyse proprement dite, il est possible d'arriver à une détermination approchée du rapport en question, et de constater, jusqu'à un certain point, si l'on peut encore améliorer la marche du fourneau. Mais il est bien évident qu'il serait, en tous cas, fort utile de pouvoir confirmer ces aperçus par l'examen direct des gaz du gueulard.

Je prendrai comme exemple l'un des hauts-fourneaux du Pouzin, de la société de l'Horme, situé sur les rives du Rhône entre Valence et Montélimart. Les données se rapportent à une époque déjà un peu éloignée (1857), mais les minerais, le coke, la consommation, etc., sont encore les mêmes actuellement; la production seule a été modifiée; elle était de 18 tonnes en 1857, elle atteint maintenant 25 à 30 tonnes.

Le haut-fourneau avait un profil *élancé* (*fig.* 12, Pl. I); la hauteur est de $16^m,90$, le volume de 115^{m^3}. Le vent était chauffé à 290 degrés, et débité à volonté par deux ou trois tuyères. La température des gaz du gueulard de 250 degrés.

Le produit normal était de la fonte de forge n° 4. — Le minerai, de l'hématite rouge, du terrain oxfordien, à gangue fusible argilo-calcaire. Sa composition moyenne peut être représentée par les nombres suivants :

Peroxyde de fer	60	tenant fer 42
Argile.	21	
Carbonate de chaux.	15	
Eau.	4	
Total.	100	

Les divers éléments de la marche du fourneau sont résumés dans le tableau ci-joint, donnant la *balance* des matières premières et des produits; il est conforme au modèle que j'ai l'habitude de dresser, depuis longtemps, en vue de mon cours de métallurgie, à l'École des mines.

Balance des matières premières et des produits de l'un des hauts fourneaux du Pouzin (1857), *en admettant dans la fonte* 3 *p.* 100 *de carbone,* 2 *p.* 100 *de silicium et* 1 *p.* 100 *de substances étrangères de diverses sortes.*

MATIÈRES PREMIÈRES par kilogramme de fonte produite.		RÉPARTITION des matières.		PRODUITS. Fonte.	Laitier.	Gaz.
	kilog.		kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Minerai	2,340					
formé de :						
(0,60) Fe^2O^3	1,404	Peroxyde de fer 1,343 { Fe.		0,940		
		O.				0,403
		Peroxyde de fer 0,061 { FeO.			0,055	
		1,404 { O.				0,006
(0,21) Argile	0,491	0,060 { silice et terres réduits { Si, etc.		0,030		
		O.				0,030
		(voy. § 7.)				
		0,431 { argile non décomposée			0,431	
(0,15) Carbonate de chaux	0,351	Chaux			0,196	
		CO^2				0,155
(0,04) Eau	0,094	vapeur d'eau				0,094
Minerai	2,340					
Castine	0,600	Chaux			0,336	
		CO^2				0,264
Coke	1,200	Carbone	$0^k,970$	0,030		0,940
		Cendres (0,15)	$0^k,180$		0,180	
		Eau	$0^k,050$			0,050
		Coke	$1^k,200$			
Total des matières premières *solides*	4,146	donnant		fonte, 1,000	laitier, 1,198	gaz, 1,912

NOTA.—Pour avoir le poids total des gaz, il faudrait ajouter à $1^k,912$, le poids du vent injecté. On verra ci-après qu'on peut l'évaluer approximativement à $4^k,875$. J'observerai encore, en passant, que lorsqu'on connaît la composition de la gangue du minerai et des cendres du coke, on peut aussi, à l'aide de ce tableau, déterminer *à priori* la composition des laitiers.

Pour pouvoir apprécier maintenant, d'après ce tableau, la marche réelle du fourneau, il faut d'abord évaluer approximativement la chaleur *consommée*.

Elle se compose, d'après le § 10, de quatre parties, dont les deux principales peuvent être déterminées avec assez de rigueur, et les deux autres d'une façon approchée.

La *première* comprend, d'une part, la chaleur absorbée par la *réduction*, qui varie peu avec la nature des minerais s'ils sont peroxydés, et, d'autre part, la chaleur possédée par la fonte au sortir du haut-fourneau.

La chaleur de *réduction* est de. . . .	1984 cal. d'après le § 11.
Pour la chaleur de fusion j'admettrai. puisqu'il s'agit ici d'une fonte d'affinage n° 4.	310 cal. au lieu de 330
Total.	2294 calories.

Dans la *seconde* partie, se trouve d'abord la chaleur prise par les laitiers. Comme le minerai est fusible, j'admettrai 500 calories par kilogramme de laitier au lieu de 550, ce qui donne, pour $1^k,198$ de laitier, 599 calories.

Il y a, ensuite, la chaleur prise par la décomposition du calcaire, la vaporisation de l'eau, et la décomposition de l'humidité de l'air. Ce dernier élément seul, peu important d'ailleurs, reste un peu incertain, parce qu'on ne connaît pas le poids exact du vent ; mais on peut admettre, provisoirement pour ce poids, $4^k,50$, eu égard au carbone consommé et aux chiffres fournis par les usines du Cleveland.

La *troisième* partie est la chaleur emportée par les gaz. On connaît leur température. Quant à leur poids, il suffit d'ajouter, à l'air injecté, les gaz fournis par le lit de fusion. D'après le tableau précédent, c'est : $4^k,5 + 1^k,942 = 6^k,442$.

Enfin la *quatrième* partie comprend la chaleur perdue par les parois du fourneau. On peut admettre 300 calories, d'après les données des fourneaux du Cleveland.

En partant de ces principes, nous trouverons pour la chaleur *consommée* par le fourneau du Pouzin les chiffres suivants :

1°	Chaleur de réduction et de fusion de la fonte.		2294 cal.
2°	Chaleur prise par le laitier	$1^k,198 \times 500$ cal. . . =	599
	Chaleur absorbée par le calcaire du minerai et du fondant. . .	$0^k,951 \times 373,5$ =	355
	Chaleur absorbée par la vaporisation de l'eau du minerai et du coke. . .	$0^k,144 \times 606$ =	87
	Chaleur prise par la décomposition de l'humidité du vent.	$0,0062 \times 4,5 \times 3222$ =	90
3°	Chaleur emportée par les gaz	$6^k,442 \times 150° \times 0,237$ =	229
4°	Chaleur perdue par les parois.		300
	Total de la chaleur *consommée* ou *nécessaire*. . .		3954 cal.

Ce chiffre doit donc représenter aussi la chaleur *reçue*, qui se compose de la chaleur de *combustion*, et de la chaleur *fournie par le vent*.

Or, si nous admettons, pour le poids du vent, $4^k,50$, nous aurons, comme valeur approchée de la chaleur apportée par le vent (§ 16),

$$4^k,50 \times 290° \times 0,239 = 312 \text{ calories.}$$

Il reste donc, pour la *chaleur de combustion* 3642 calories, tandis que le pouvoir calorifique *total* du carbone brûlé est de :

$$0^k,940 \times 8080 = 7595 \text{ calories,}$$

ce qui donne finalement comme chaleur *développée* dans le fourneau, $\frac{3642}{7595}$, $= 0,48$ du pouvoir calorifique du carbone brûlé ; c'est précisément le rapport trouvé pour le grand haut-fourneau de Clarence-Works (§ 17), ce qui tend déjà à prouver que le fourneau du Pouzin, malgré sa faible capacité, était dans de bonnes conditions de marche.

Mais, puisque nous connaissons le carbone brûlé et la chaleur développée, il est facile de trouver, à l'aide de deux équations, la valeur de m ou de $\frac{CO^2}{CO}$ et celle de y ou de CO.

Nous avons, d'une part, l'équation (1) du § 7 :

$$(1) \qquad \frac{3}{7}y + \frac{3}{11}my = p,$$

et, d'autre part, on sait que la chaleur de combustion est due au carbone, brûlé en CO et CO^2. La formule (4) du § 15 donne pour cette chaleur :

$$\frac{3}{7}y \times 2473 + \left(\frac{3}{11}my - b\right) 8080 = 3642,$$

formule qui peut aussi s'écrire :

$$(4) \quad \left(\frac{3}{7} \times 2473 + \frac{3}{11}m \times 8080\right) y = 3642 + 8080 \times b = Q.$$

De ces deux équations (1) et (4), on tire

$$m = \frac{11}{7}\left(\frac{Q - 2473 \,.\, p}{8080\,p - Q}\right); \quad y = \frac{7}{3}\left(\frac{8080\,p - Q}{5607}\right),$$

d'où

$$my = \frac{11}{3}\left(\frac{Q - 2473 \,.\, p}{5607}\right).$$

Appliquons ces expressions aux données du fourneau du Pouzin.

b. est le carbone contenu dans le calcaire $0^k,951$;

donc $$b = 0,12 \times 0,951 = 0^k,114;$$

p. est le carbone brûlé, plus le carbone fourni par le calcaire ;

donc $$p = 0^k.940 + 0^k,114 = 1^k,054,$$

d'où $$Q = 3642 + 8080 \times 0,114 = 4563 \text{ calories};$$

$$m = \frac{11}{7}\left(\frac{4563 - 2606}{8516 - 4563}\right) = \frac{11}{7}\left(\frac{1957}{3953}\right) = \frac{21527}{27671} = 0,78,$$

$$y = 1^k,645 \quad \text{et} \quad my = 1^k,280.$$

Les gaz renferment donc, en définitive :

$1^k,645$ d'oxyde de carbone

et $1^k,280$ d'acide carbonique.

Le premier de ces gaz comprend	$0^k,705$	de carbone
Le second — —	$0\ ,349$	
Total.	$1^k,054 = p.$	

De la valeur de m et de y, on peut enfin déduire les quantités d'oxygène et d'azote qui devront être fournis par le vent, en se servant des formules du § 7.

La formule (3) donne, pour l'oxygène abandonné par le lit de fusion aux gaz :

$$d = \frac{8}{5} \times 0,114 + 0,423 = 0^k,727,$$

et la formule (2), pour l'oxygène *total* du vent;

$$x = \frac{y}{77}(44 + 56 \times m) - 0,727 = 1^k,146,$$

d'où, pour l'oxygène du vent *sec*,

$z = 0,97677.x$.	$= 1^k,119$
Pour l'azote, $3,33\ z$.	$= 3\ ,726$
Donc, pour l'air sec.	$4\ ,845$
Humidité de l'air $0,0062 \times 4.845$.	$= 0\ ,030$
Poids du vent humide.	$4^k,875$

Enfin les gaz seront composés de :

CO^2.	$1^k,280$
CO.	$1\ ,645$
Azote.	$3\ ,726$
Gaz secs.	$6\ ,651$
Eau du lit de fusion.	$0\ ,144$
Gaz humides.	$6^k,795$

On voit que les quantités de vent et de gaz sont un peu plus considérables que les poids admis *à priori*. Mais, au point de vue des effets calorifiques, il y a à peu près compensation. L'excès de vent, $0^k,375$, apportera 25 calories de plus au fourneau, tandis que l'excès de gaz emportera 14 à 15 calories en sus du chiffre calculé.

Il y aurait donc en réalité un excès de chaleur *apportée*, de 10 à 11 calories, qui devra être compensée par une moindre chaleur de *combustion;* c'est-à-dire, que la chaleur de combustion se trouverait ramenée de 3642 à 3632 calories. A la rigueur, on pourrait, en partant de ce dernier nombre, calculer à nouveau les valeurs de m et de y. Le nombre Q, dans les formules précédentes, serait diminué de 10 unités; on aurait 4553 calories au lieu de 4563. Mais on voit, de suite, que cette correction serait insignifiante; elle n'augmenterait que de $0^k,004$ ($1^k,649$ au lieu de $1^k,645$), la valeur de CO, aux dépens de celle de CO^2, et le rapport m n'en serait guère affecté. Bref, les chiffres précédents doivent représenter, d'une façon suffisamment approchée pour la pratique, la situation réelle des choses. Eh bien, il résulte de ces chiffres que la marche du fourneau du Pouzin est en réalité très-satisfaisante.

Le rapport m a presque atteint la limite 0,80 où le dédoublement de l'oxyde de carbone cesse de se produire. Les gaz sont riches en CO^2 et pourtant froids. Dans ces conditions, une surélévation du fourneau n'eût produit aucun effet sensible (§ 24).

La consommation ne pourrait être réduite au-dessous de $0^k,970$ de carbone pur, à moins de surchauffer le vent comme à Consett. Cette allure avantageuse du fourneau du Pouzin doit, à mon avis, être attribuée, en grande partie, à la forme *élancée* de son profil. Les gaz s'y distribuent d'une façon uniforme et la réduction s'y fait régulièrement. A une certaine époque, le directeur de l'usine, mon frère, essaya d'agrandir le gueulard, *sans modifier le mode de*

chargement. Il en résulta immédiatement une marche moins régulière, une consommation plus forte. Depuis lors on a accru la production en forçant le volume du vent, mais la consommation n'est pas descendue au-dessous de $0^k,970$ en carbone pur.

En définitive, on voit qu'indirectement, même sans fixer *par expérience* la valeur du rapport $\frac{CO^2}{CO}$, on peut arriver à se rendre un compte approximatif du mode de combustion du carbone dans les hauts-fourneaux, et apprécier l'économie relative de sa marche. Mais cette détermination indirecte de la valeur de $\frac{CO^2}{CO}$ repose sur l'évaluation plus ou moins hypothétique de la chaleur *consommée.* Il sera toujours préférable de déterminer ce rapport par l'analyse des gaz, ce qui permet alors de calculer rigoureusement la chaleur *reçue.*

C'est un mode de contrôle de la marche des hauts-fourneaux, facile à réaliser. Je crois devoir le recommander aux maîtres de forges. On peut de la sorte reconnaître les points faibles des appareils et y remédier d'une façon plus sûre.

§ 28. *Nouvel exemple de fourneaux français.* — Je viens de montrer, par l'exemple du Pouzin, qu'il n'est pas toujours nécessaire de *surélever* les hauts-fourneaux pour en obtenir des résultats satisfaisants. Je pourrais multiplier les exemples. Je citerai les hauts-fourneaux de Denain (1865), où, avec un volume de 78^{m^3} et une hauteur de 13 mètres seulement, on est arrivé à une production journalière de 30 tonnes de fonte d'affinage, en ne consommant que 1150 à 1200 kilogrammes de coke à 15 p. 100 de cendres, et cela avec des minerais argileux, dont le rendement est de 32 à 35 p. 100 seulement. Ces résultats avantageux sont surtout réalisés par un mode de chargement rationnel, et aussi, comme au Pouzin, par une région de fusion

plus rétrécie que celle de la plupart des hauts-fourneaux anglais.

Voici encore le haut-fourneau n° 1 de Montluçon, usine Saint-Jacques, dont les éléments principaux étaient en 1867 :

Volume.	$122^{m3},3$
Hauteur.	15 mètres.

Température du vent 315 degrés.

Température des gaz 100 degrés, à cause de la nature hydratée des minerais.

Production par vingt-quatre heures, 24 tonnes de fonte grise de forge.

Charge. Minerais hydratés en grains, avec $\frac{1}{10}$ de scories de forge, d'une teneur moyenne de 39 à 40 p. 100.

Consommations pour 1 kilogramme de fonte :

Coke.	$1^k,145$, à 17 p. 100 de cendres et 3 p. 100 d'eau, soit $0^k,916$ de carbone pur.
Minerai.	$2^k,547$
Castine.	$0^k,900$
Laitiers produits	$1^k,470$

C'est là aussi un exemple de marche économique, et, si l'on y appliquait le mode de calcul que je viens de développer dans l'exemple du Pouzin, on trouverait également une valeur élevée pour le rapport $\frac{CO^2}{CO}$. Une hauteur plus grande ne diminuerait en rien la consommation déjà si faible.

La seule économie possible est celle qui résulterait de l'emploi du vent surchauffé.

Si l'on me demandait enfin, d'où vient cette différence si grande entre la marche des fourneaux que je viens de citer et celle des anciens types du Cleveland, je ne puis indiquer que les raisons suivantes :

1° Le profil des fourneaux français est en général plus *élancé* que celui des fourneaux anglais; il en résulte une meilleure distribution des gaz; la réduction se fait dans les régions hautes, avec une moindre consommation de carbone solide. J'ai fait remarquer déjà, qu'il faut certainement attribuer à cette différence de profil une part de l'économie, que le four de Clarence de 1866 offre aussi bien sur le grand haut-fourneau d'Ormesby de 1867, que sur le petit four de Clarence de 1853.

2° On se préoccupe davantage en France du *mode de chargement*; son influence sur la distribution des gaz est connue. On sait que l'on peut se rapprocher ainsi de la marche *idéale*, c'est-à-dire favoriser la réduction sans consommation de carbone solide.

3° Enfin, la région de fusion auprès des tuyères me paraît en général *trop large* en Angleterre. Dans les plus petits fourneaux du Cleveland, le diamètre de l'ouvrage n'est jamais inférieur à $1^m,80$. et dans un grand nombre de ceux de 300 à 500^{m^3} de capacité, il atteint $2^m,20$ à $2^m,40$, et même $2^m,50$ à $2^m,75$, et cela avec des hauteurs très-souvent inférieures à ce diamètre, tandis que, dans les fourneaux français, que je viens de citer, le diamètre moyen est rarement supérieur à $1^m,50$ ou $1^m,60$. Or la *capacité* de la région de fusion a une influence directe sur la consommation. Pour fondre un minerai *réfractaire*, il ne suffit pas d'avoir à sa disposition une certaine *somme* de chaleur; il faut encore que cette chaleur soit *bien distribuée*, que la *température locale* soit intense, ce qui ne peut se réaliser que dans un espace suffisamment rétréci.

On sait, par les expériences de M. Tunner sur les températures des régions de fusion, qu'auprès de chaque tuyère, la zone de combustion proprement dite est toujours fort restreinte, et que si l'on veut avoir une température *moyenne élevée*, il faut nécessairement rétrécir la zone de fusion. Quelles que soient les dimensions de la cuve d'un

haut-fourneau, on ne réalisera cette haute température, avec une consommation relativement faible, qu'en faisant usage d'ouvrages étroits et relativement élevés. C'est une précaution que l'on néglige trop souvent, aussi bien dans les fonderies de plomb et de cuivre, ou dans les cubilots, que dans les hauts-fourneaux à fer.

NOTE ADDITIONNELLE.

Pendant l'impression de ces pages, je me suis livré à quelques expériences sur la chaleur que possèdent la fonte et les laitiers au sortir des hauts-fourneaux. J'en publierai sous peu les résultats. En attendant je dois dire que les chiffres publiés par M. Bell me paraissent un peu élevés et que, dans les évaluations ci-dessus données, il y aura sous ce rapport quelques corrections à faire. Les conclusions générales de mon mémoire n'en sont cependant nullement affectées; seulement, il y aura à augmenter d'une centaine de calories le nombre que représente la chaleur emportée par les parois.

NOTES

SUR

LA PRÉPARATION MÉCANIQUE ET LA CARBONISATION DE LA HOUILLE A L'ÉTRANGER ET EN FRANCE.

Par M. A. PERNOLET, ingénieur civil des mines,
Ancien élève de l'École des mines de Paris.

Dans ces dix dernières années, la fabrication du coke, qui sert de trait d'union entre les deux grandes industries du fer et de la houille, a pris, par suite du développement même de ces dernières, une importance considérable. Et, tandis que, dans cette fabrication, les exploitants cherchaient surtout un moyen d'augmenter leur production, tout en améliorant les produits par la séparation des *fins*, les métallurgistes visaient à obtenir des cokes de plus en plus purs, de plus en plus homogènes et de plus en plus solides.

Cette nécessité de faire, avec les différentes natures de houille que livraient les différentes exploitations, des cokes capables de donner satisfaction aux exigences maintenant presque uniformes de la métallurgie, a conduit partout à *trier*, à *laver*, à *broyer* et à *mélanger* dans des appareils de plus en plus parfaits, les charbons qu'on *carbonise* dans des fours appropriés à la nature plus ou moins collante, et plus ou moins riche en matières volatiles, du mélange qui leur est livré.

Aujourd'hui qu'après la crise inouïe que vient de traverser la France, l'industrie, et particulièrement celle du fer, reprend avec une puissance dont on n'avait pas l'idée

encore, et que, par suite de cette reprise, les cokes sont recherchés au point de valoir 56 francs la tonne dans le Nord, c'est-à-dire 80 p. 100 de plus qu'il y a quatre ans, il m'a paru intéressant de faire connaitre les meilleurs appareils employés actuellement en Allemagne, en Belgique et en France, pour obtenir des cokes métallurgiques. A l'heure présente, tous les cokes se vendent, *presque quelle que soit leur qualité*, avec gros bénéfice pour le fabricant; c'est par conséquent le moment, pour les prudents et les sages, de se rappeler le temps où, les cokes étant à 20 francs, il fallait, pour trouver à les vendre, les produire excellents et garantir des teneurs en cendres quelquefois inférieures à 6 p. 100. Qu'ils mettent donc de côté une partie de leurs bénéfices d'aujourd'hui pour transformer et améliorer leur fabrication, en vue des temps plus durs qui ne manqueront pas de venir, et où, seuls, les prévoyants d'aujourd'hui pourront lutter et vivre.

C'est en vue de faciliter cette transformation à ceux qui en sentiront la nécessité, que je réunis ici les notes recueillies par moi à l'étranger et en France sur la fabrication du coke. J'espère qu'elles serviront à quelques-uns, et que, par là, je contribuerai, pour ma faible part, au développement et au progrès de l'industrie française qui, si éprouvée qu'elle ait été par les derniers événements, est encore pour notre pays la garantie la plus sure de sa prospérité et de sa puissance.

Ce travail comprendra quatre parties distinctes :

Dans la première, je traiterai la *préparation mécanique* proprement dite de la houille, c'est-à-dire le *classage*, le *triage* et le *lavage* des charbons. Ce sont choses depuis longtemps usitées et connues, dont je n'aurai par conséquent à donner que quelques exemples nouveaux.

Dans la seconde, je m'occuperai du *broyage* et du *mélangeage* des charbons lavés destinés à la fabrication du coke. C'est là une opération de grande importance au point de

vue de l'apparence et de la solidité du coke. Elle devient d'absolue nécessité toutes les fois qu'on doit faire, comme au Creuzot et à Anzin, des cokes avec des charbons de provenances et de natures diverses. Il faut, en effet, surtout lorsqu'on veut introduire dans le coke une proportion notable de houille maigre, broyer et mélanger les menus de manière à les amener à l'état de poudre assez finement divisée et assez intimement mélangée pour qu'ils donnent, par la cuisson, un coke parfaitement collé, à pâte fondue et bien levée, en même temps qu'à maille uniforme et serrée, ce qui est la meilleure condition de solidité d'un coke. Pour cela il y a aujourd'hui un appareil excellent, *le broyeur Carr*. Il est encore peu répandu, bien que, depuis quelques années, il ait fait ses preuves, particulièrement à Anzin; aussi donnerai-je, en même temps que sa description, tous les détails nécessaires à son installation, et à celle des accessoires qui composent un grand atelier de broyage et de mélangeage.

Dans la troisième partie, je traiterai la *carbonisation* proprement dite.

Et enfin, dans la quatrième, je réunirai tous les renseignements économiques que j'ai pu recueillir sur l'ensemble de la fabrication du coke.

PREMIÈRE PARTIE.

Préparation mécanique de la houille.

La houille, à sa sortie de la mine, doit, pour être vendue dans des conditions avantageuses, subir une préparation mécanique, dont les opérations successives ont pour but :

1° De séparer du charbon livré par l'exploitation : d'abord toutes les impuretés saisissables à la main ; ensuite tout le charbon marchand qu'on peut vendre sans autre préparation qu'un classage ; enfin, tout le menu qui, mêlé au charbon, diminuerait sa valeur, tandis que transformé en coke ou en aggloméré, il constitue par lui-même un produit marchand d'écoulement facile et souvent de valeur très-grande.

2° D'amener le menu ainsi isolé à un degré de propreté tel, que le coke qui en résulte n'ait pas une teneur en cendres supérieure à celle exigée par l'acheteur.

Étudions en détail chacune de ces opérations ; précisons, pour chacune d'elles, les conditions dans lesquelles elle pourra le mieux se faire, et faisons connaître les appareils qui, jusqu'à ce jour, semblent le mieux entendus pour atteindre le but proposé.

I. — CLASSAGE ET TRIAGE DES CHARBONS POUR COKE.

Le classage et le triage des charbons se font habituellement à la mine même, où l'on verse le charbon, à sa sortie des galeries ou des puits, sur des cribles établis à proximité de la recette.

Ces cribles qui sont ou fixes, ou rotatifs, sont toujours installés de manière à permettre de séparer immédiatement

à la main, sur les cribles mêmes, ou sur des tables disposées à cet effet, les pierres, les rognons ferrugineux ou pyriteux et toutes les impuretés saisissables à la main, en même temps qu'ils donnent au moins deux catégories de charbon :

Du *criblé* restant sur le crible, et dans lequel on fait souvent encore plusieurs classements de grosseur, lorsque les besoins du commerce l'exigent.

Du *fin*, qui traverse les grilles et est généralement réservé pour la fabrication du coke.

Disposition des cribles. — Je ne m'arrêterai pas à la disposition de ces cribles dont l'agencement et la construction dépendent :

De la disposition des lieux ;

De la nature des houilles à cribler ;

Du nombre de classes qu'on veut faire ;

Enfin des habitudes commerciales de chaque bassin.

Je m'y arrêterai d'autant moins, qu'en général ils appartiennent à la houillère plutôt qu'à l'usine à coke ; ils sont donc plus affaire de l'exploitation proprement dite que de la fabrication spéciale dont je veux m'occuper dans cette étude.

Je n'en retiens qu'une chose, c'est qu'ils doivent être disposés de manière à livrer, débarrassé autant que possible de toutes les impuretés saisissables à la main, du *fin* dont la grosseur est réglée plus généralement par les exigences de l'acheteur de *criblé* que par celles de l'acheteur de *fin*. Celui-ci doit prendre ce que l'exploitant lui laisse comme impropre à la vente directe, et c'est à lui d'en tirer le meilleur parti.

Grosseur du fin employé à la fabrication du coke. — Dans le nord de la France et en Belgique, l'écartement des barreaux de cribles, écartement qui détermine la grosseur du fin réservé pour la fabrication du coke, est généralement de 10 à 15 millimètres ; en Allemagne, j'ai vu cet écartement

aller jusqu'à 60 millimètres; en Angleterre, au contraire, près de Wigan, par exemple, j'ai vu n'envoyer aux fours à coke que des menus ayant traversé des cribles de 2 millimètres et demi. Il n'y a donc à ce sujet aucune règle générale qu'on puisse citer. Tout ce qu'on peut dire c'est ceci : Au point de vue de la fabrication du coke, il y a avantage à avoir un charbon assez fin pour qu'il ne soit pas nécessaire de le broyer avant le lavage, et en même temps assez gros pour que le lavage ne soit pas impraticable à cause des frais et des pertes qu'il occasionne.

Naturellement, la manière dont les impuretés sont réparties dans la houille est la chose principale à considérer pour déterminer le degré de finesse le plus avantageux.

Là où le fin est propre, comme dans le bassin de Liége, ou en Angleterre, il n'y a pas d'inconvénient à ne séparer pour la fabrication du coke que la poussière la plus fine, parce que ne la lavant pas, on n'a pas de pertes à craindre.

Là au contraire où les impuretés sont surtout des débris de toit et de mur friables, que le charbon entraîne avec lui à l'état de poussières terreuses, le fabricant de coke a intérêt à ne prendre que des fins assez gros pour contenir autre chose que ce stérile.

Mais, je le répète, à moins que les exploitants ne soient eux-mêmes fabricants de coke, il est bien rare que l'on règle la grosseur du fin sur les convenances où les intérêts du fabricant du coke : il doit habituellement prendre ce que le commerce ne prend pas.

II. — ÉPURATION DES MENUS DE HOUILLE.

Moyen à employer. — Le seul moyen d'épuration qui puisse être employé pratiquement pour les menus de houille est le lavage, c'est-à-dire la suspension de la matière à débarrasser de ses impuretés dans un milieu assez résistant pour permettre à la gravité de séparer, pendant la chute,

les éléments de densité différente. Mais, pour être efficace, ce lavage doit s'appliquer à une matière *assez finement divisée* pour que les éléments à séparer soient nettement isolés, et *assez grenue* pour que, livrée à l'eau, elle n'y reste pas en suspension. De plus, pour qu'une pareille matière puisse être lavée dans de bonnes conditions. il faut, autant que possible, ne laver ensemble que des éléments de grosseurs peu différentes, afin que l'action de la densité qui détermine le départ des éléments les plus lourds [éléments impurs], ne soit pas entravée par l'influence de la forme.

Conditions d'un bon lavage. — De là, il résulte que, pour obtenir un lavage aussi parfait que possible, il faut :

1° Broyer les matières d'autant plus finement que les impuretés y sont mêlées d'une manière plus intime.

2° Séparer, avant le lavage, tout ce qui, étant trop fin pour être bien délayé par l'eau, empêcherait le lavage des grains qu'il empâterait et ne pourrait être lavé isolément sans donner lieu à des pertes énormes par entraînement. Rejeter ce fin s'il est trop sale pour entrer dans la fabrication, le mêler au charbon lavé s'il est assez propre pour ne pas élever trop sa teneur en cendres.

3° Classer par ordre de grosseur tout ce qui est assez gros pour être lavé.

4° Laver séparément chaque grosseur.

5° Le lavage terminé, mêler intimement les différents grains de manière à ne livrer aux fours qu'un poussier bien homogène.

Classement par grosseur. Sa limite, — Pour le classement par grosseur dont l'utilité est incontestable pour des menus assez gros, il ne doit pas être poussé trop loin pour des menus fins. En effet, les menus très-fins ne peuvent-être lavés isolément qu'autant qu'on laisse mêlés à eux une proportion de charbon en grain, assez forte pour les empêcher de faire pâte avec l'eau en assurant la perméabilité de toute la masse. On doit donc s'arrêter, dans le clas-

sement des menus à laver, à la grosseur qui précède celle des menus ne pouvant plus se laver seuls.

Lavage, condition essentielle. — Pour le lavage qui, dans tous les appareils perfectionnés, se fait maintenant sur une grille fixe, immergée dans une masse d'eau à laquelle on imprime, au moyen d'un piston, des pulsations régulières soulevant d'une manière intermittente, le charbon placé sur la grille, et déterminant l'entraînement de la partie la plus légère, la condition essentielle à son efficacité est, le soulèvement de l'eau une fois produit, de ne la laisser redescendre que très-lentement, afin que le classement par ordre de densité des matières mises en suspension par l'eau soulevée, puisse s'effectuer sans être troublé par un mouvement de retour trop rapide, qui entraînerait avec une vitesse égale tous les éléments en suspension quelle que soit leur densité.

Appareils employés. — Il y a aujourd'hui pour le lavage de la houille un très-grand nombre d'appareils :

Les plus simples sont les lavoirs à courant d'eau continu, dont on ne rencontre plus que de rares exemples.

Les plus efficaces sont les appareils à grille avec courant d'eau intermittent. Dans ces appareils : Tantôt la grille est mobile au milieu d'une masse d'eau immobile. C'est le cas des anciens cribles à secousse mus à la main ou à la machine. C'est le cas aussi de l'appareil très-perfectionné employé par M. Evrard à la Chazotte.

Tantôt la grille est fixe au milieu d'une masse d'eau qu'on soulève au moyen d'un piston, de manière à faire traverser la grille et les matières qu'elle reçoit, par un courant d'eau intermittent. C'est le cas de tous les bacs à piston qu'on rencontre maintenant le plus généralement et dont les plus perfectionnés sont : le lavoir Bérard, le lavoir Meyer, — le lavoir Coppée avec grand bassin de dépôt, etc.

La supériorité de ces derniers appareils sur les précédents c'est que les choses peuvent y être et y sont toujours

disposées de manière qu'à chaque soulèvement de la masse d'eau il y a entraînement par l'eau hors de l'appareil, du charbon lavé, ce qui permet d'avoir des appareils continus lavant de grandes quantités de matières.

Je ne reviendrai ici sur aucun de ces appareils, ils sont connus de tous les ingénieurs et ont presque tous été décrits par leur auteur même, dans les Annales des Mines, le Bulletin de l'industrie minérale ou d'autres publications industrielles où tout le monde pourra trouver leur description. Je me bornerai à faire connaître ici trois lavoirs que je n'ai vus qu'à l'étranger et qui, à des titres divers, me paraissent dignes d'attention :

Le premier est le *lavoir Rexroth*, dont on peut voir de très-beaux exemples :

A Hirschbach près Sulzbach — bassin de la Saarre — à l'usine à coke de M. de Wendel.

A Malstadt — près Saarrbruck — à l'usine à coke de MM. Dupont et Dreyfus.

Enfin à Seraing — bassin de Liège — à l'usine à coke établie par M. de Wendel près de la houillère Marihaye. C'est ce dernier que je décrirai comme le plus récemment installé — 1868.

Le second est le *lavoir Sievers*; dont on rencontre dans toute l'Allemagne des exemples plus ou moins complets, et dont je donnerai le plus complet, celui que j'ai vu en 1869 à la houillère Schleswig à Hœrde près Dortmund — bassin de la Ruhr.

Le troisième est un *lavoir à Schlamms* installé près du puits Dechen à Heinitz — bassin de la Saarre.

Lavoir Rexroth établi à Seraing (bassin de Liège).

Description d'ensemble. — Le lavoir Rexroth — dont la disposition d'ensemble est représentée dans les figures 1 et 2, de la planche II — reçoit la houille du puits voisin, —

où on ne sépare sur un crible à barreaux très-écartés que le gros.

La houille traitée a l'apparence d'un tout venant ***dégailleté;*** elle contient une très-forte proportion de menu et beaucoup de poussière.

L'ensemble de l'installation se compose :

D'un broyeur B, qui amène le charbon au degré de finesse voulu pour un bon lavage;

D'un trommel T, qui sépare la poussière trop fine pour être lavée, et donne trois grosseurs de grains qu'on lave isolément;

De trois lavoirs à pistons L_1 L_2 L_3, avec cribles fixes, lavant chacun une grosseur;

D'un appareil mélangeur m_1 m_2, qui mêle entre eux les grains lavés isolément et la poussière séparée avant le lavage;

Enfin, d'une paire de cylindres broyeurs O, qui ramènent à une grosseur uniforme les grains du mélange.

Des chaînes à godets C C′ et S S′ sont disposées de telle façon que le charbon broyé est élevé mécaniquement au sommet de l'atelier, d'où il redescend en traversant toute la série des appareils pour être remonté, une fois lavé et rebroyé, au-dessus de la plate-forme de chargement des fours à coke.

Description du travail. — La houille, amenée par wagons de chemin de fer à grande section à proximité du broyeur, y est jetée directement à la pelle, après avoir été nettoyée de ses plus grosses impuretés par un gamin qui la trie à la main dans le wagon même.

Le broyeur B, qui tourne à la vitesse de dix tours par minute, amène la houille à l'état de *fin*, dont les plus gros grains ne passent pas à travers un crible de 17 millimètres.

A sa sortie du broyeur, le fin est élevé par une chaîne à godets C C′ au haut de l'atelier au-dessus du trommel clas-

seur T, à l'intérieur duquel il est introduit par une trémie *t* dans laquelle se vident les godets.

Ce trommel, qui fait vingt tours par minute, donne quatre grains dont :

Le plus fin, poussière ayant traversé une toile métallique de 2 millimètres et demi de maille, va directement, *sans lavage*, par une glissière en tôle G, aux vis mélangeuses, et dont les trois autres grains sont lavés isolément dans trois bacs L_1, L_2 et L_3, distincts, mais identiques de construction, et formant avec la glissière G un tout unique.

Le fin, classé par le trommel, est amené au point le plus élevé de la grille E de chaque lavoir par une trémie à vanne V permettant de régler son débit. Il s'étale en couche mince sur cette grille au-dessous de laquelle l'eau est constamment soulevée par un piston P établi à l'arrière de chaque bac et donnant vingt-cinq impulsions par minute, en même temps qu'une pompe rotative à grande vitesse R, installée latéralement au lavoir, ramène constamment, par le tuyau à tubulures F F F débouchant dans les bacs à l'arrière du piston, l'eau qui s'échappe par le déversoir D en entraînant sur la grille fortement inclinée N le charbon lavé. Cette eau, environ 4^{m^3},500 par minute, est prise à la sortie des bassins de dépôt et sert indéfiniment.

Sous l'influence de ce courant d'eau intermittent, jointe à l'inclinaison de la grille, les impuretés, schistes ou autres, plus lourdes que le charbon propre, se réunissent au point le plus bas de la grille, tandis que le charbon pur passe au-dessus du déversoir, entraîné par l'eau.

Cette eau, chargée de charbon, coule sur la grille inclinée N, faisant suite à chaque bac et sur laquelle s'opère la séparation entre l'eau qui traverse la grille pour aller à trois bassins de dépôt se débarrasser des schlamms qu'elle entraîne; et le charbon qui roule jusqu'au bas de ce plan incliné pour se réunir dans une auge en fonte KK, commune aux trois bacs et à la glissière au poussier.

Là les trois grains de charbon lavé et le poussier non lavé sont pris par des palettes en fer *p*, qui les rejettent dans une vis sans fin m_1 longeant tout le lavoir, commençant le mélange de ces diverses catégories, et le menant à une seconde vis sans fin m_2, à pas inverse, établie parallèlement et au-dessous de la première, vis qui achève le mélange et l'entraîne aux broyeurs O.

Après ce broyage, qui achève le sèchage du mélange et le ramène à un grain uniforme, le charbon prêt à être livré aux fours est élevé par une chaîne à godets S S′, dans une grande trémie établie assez haut, au-dessus de la plate-forme des fours, pour qu'on puisse amener au-dessous d'elle les wagonets de chargement.

Pour les remplir il suffit, lorsqu'on les a poussés sous la trémie, d'ouvrir l'une des vannes qu'elle présente à sa partie inférieure.

Je reviens maintenant aux schistes et autres impuretés lourdes qui s'accumulent au fond de la grille des lavoirs, et qu'il faut enlever sans arrêter le travail. Pour cela on a établi en H, dans un demi-cylindre en fonte placé sous la grille, à son extrémité inférieure, une vis sans fin qui est isolée du bac par une vanne courbe en tôle *h*. En ouvrant cette vanne, on fait tomber dans la vis sans fin tout le schiste accumulé au fond de la grille. La seule précaution à prendre pour ne pas laisser entraîner le charbon, c'est de n'ouvrir la vanne que lorsqu'il s'est accumulé assez de schiste pour qu'en ouvrant la vanne tout ce qu'il y a ne s'échappe pas d'un coup. On laisse, ainsi dans le lavoir, la couche supérieur du dépôt stérile qui, contenant encore un peu de charbon, peut être appauvrie par le lavage.

Cette vis sans fin H, qui est commune aux trois bacs, mène le schiste à nne petite chaîne à godet *u u′*, qui vient le verser dans une trémie Y, au-dessous de laquelle on a ménagé le passage d'un wagonet, de manière à pouvoir en

opérer la vidange d'un coup par la simple ouverture de la vanne fermant sa partie inférieure.

Résultats obtenus. — Le lavoir de Seraing traite 180 tonnes de houille en 10 heures.

La houille traitée a une teneur en cendres de 10,27 p. 100; on en retire à la main, avant le broyage, 3,3 p. 1000 de pierres et le lavage en sépare : 8 p. 100 de schistes tenant 53,92 p. 100 de cendres; 2,1 p. 100 de schlamms, dont la teneur en cendres est de 7,04 p. 100 pour ceux recueillis dans le bassin le plus éloigné du lavoir.

9,98 p. 100 pour ceux du bassin précédent.

16,06 p. 100 pour ceux du bassin le plus rapproché du lavoir.

La perte totale au lavage — Schlamms compris — est de 12 p. 100 et la teneur finale moyenne en cendres du charbon livré aux fours est de 6,65 p. 100, le coke qu'il donne tient 8,58 p. 100.

Si l'on considère l'effet du lavage sur chacune des catégories lavées isolément, on trouve qu'avec une houille à 10.27 p. 100 de cendres, et dont la poussière traversant un crible de deux millimètres et demi tient 9.01 p. 100 de cendres :

Les plus gros grains — grains restant sur un crible de 17 millimètres — sont ramenés à ne tenir que 3,51 p. 100 de cendres.

Les grains moyens — grains traversant un crible de 17 millimètres, sont ramenés à une teneur de 3,75 p. 100.

Et les plus petits — grains traversant un crible de cinq millimètres — retiennent encore après lavage 4,31 p. 100 de cendres.

Enfin les boues qui se déposent dans le fond des bacs — boues qu'il faut enlever de temps à autre — contiennent 26,15 p. 100 de cendres.

Personnel nécessaire. — A Seraing, pour laver 180

tonnes de houille en dix heures, le personnel occupé est le suivant :

Un gamin qui, dans les wagons amenant la houille, trie les pierres à la main.

Quatre hommes qui déchargent les wagons et jettent la houille au broyeur.

Un homme qui conduit tout le lavage, et dont la principale occupation est d'ouvrir la vanne d'évacuation des schistes.

Deux rouleurs de schistes qui amènent les wagonnets sous la trémie aux schistes, les remplissent et les roulent au dépôt.

Un machiniste qui surveille, entretient et graisse la machine motrice ainsi que toutes les transmissions.

Un chauffeur qui fait le service des deux générateurs fournissant la vapeur à la machine — Ces générateurs sont chauffés par les flammes perdues des fours à Coke.

Détail de construction des appareils. — Ces renseignements généraux donnés, je vais revenir sur le mode de construction de chaque appareil et quelques dispositions de détail qui me semblent mériter d'être signalées comme très pratiques et bonnes à imiter.

Broyeur. — Le broyeur est disposé comme un moulin à café — dont la noix aurait $1^m,100$ de diamètre. — Cette noix qui porte des dents venues de fonte avec elle, tourne dans une coquille fixe ayant $0^m,600$ de hauteur et portant elle aussi des dents. Les dents de ces deux pièces, qui ont la forme de deux cônes inverses, sont tangentes à deux cônes parallèles ayant même angle au sommet, et c'est le jeu qu'on laisse entre ces deux cônes-enveloppes des dents qui règle le degré de finesse auquel on broye. Pour le diminuer ou l'augmenter, il suffit de faire monter ou descendre la noix par rapport à la coquille fixe ; cela se fait très aisément au moyen de vis de réglage installées sous la crapaudine de l'axe moteur.

Comme cet appareil a été décrit en détail avec croquis et cotes, dans un mémoire publié dans le tome XV de la cinquième série des Annales, page 489, par M. Dieudonné, sur la fabrication du coke à Forbach et Hirschbach, je renvoie à ce mémoire tous ceux que cela intéresserait, me bornant à dire que la noix est mise en mouvement par un engrenage conique dont la grande roue est calée sur son axe même, à la partie supérieure.

Le charbon broyé tombe directement dans une fosse en ciment établie sous le broyeur, et où vient le prendre la chaîne à godets qui l'élève jusque dans le trommel classeur.

Trommel classeur. Le trommel classeur est un cylindre à axe horizontal dont la carcasse est formée de six cercles en fer de 1^{m},200 de diamètre, portés par six couronnes à trois rayons en fer avec moyeu en fonte calé sur l'axe du trommel. (Voir la Pl. II et la *fig.* 1 de la Pl. IV.) Trois fers plats *a* vont d'un cercle à l'autre, en décrivant une hélice dont le pas est de 4^{m},720, longueur totale du trommel. Sur ce fer plat, à l'intérieur, est rivée une cornière de 50/50 qui porte une tôle de 120 rivée suivant le rayon et formant le corps de l'hélice qui sert à faire avancer à l'intérieur du trommel le charbon broyé amené par une vis sans fin *b* installée sur le prolongement même de l'axe du trommel, et tournant dans un cylindre en tôle, prolongement de la trémie d'introduction du charbon.

Les six cercles et l'hélice portent l'enveloppe extérieure du trommel, qui se trouve ainsi divisé en cinq manchons égaux en longeur, mais garnis différemment :

Le premier manchon, en commençant par le côté de l'arrivée du charbon, est garni d'une tôle pleine.

Le second et le troisième manchons sont garnis d'une toile métallique à maille ayant deux millimètres et demi de côté.

Le quatrième manchon est formé par une toile métallique à maille de cinq millimètres.

Et enfin le cinquième porte une tôle percée de trous ronds de 17 millimètres de diamètre.

L'appareil ainsi constitué est porté par deux paliers recevant les extrémités de son axe. Il tourne dans une enveloppe en tôle disposée comme l'indique la Pl. II et cette enveloppe, à la partie inférieure, se divise en quatre trémies recevant : les trois premières le fin qui traverse les toiles métalliques et la tôle percée de trou, la dernière tout ce qui n'a pas traversé.

Chacune de ces trémies, qui sont fermées par une vanne mobile, correspond à l'une des divisions du lavoir.

Lavoir proprement dit. — Le lavoir proprement dit, qui est représenté par les fig. 1 et 2 de la planche II, se compose essentiellement d'une grande caisse rectangulaire en bois divisée en quatre compartiments, dont 3 de $1^{m},700$ de largeur totale et 1 de $0^{m},50$, par des cloisons verticales en bois.

Le premier compartiment G ne contient qu'une glissière en tôle, qui amène directement à l'appareil mélangeur, la poussière donnée par les manchons 2 et 3 du trommel.

Les trois autres compartiments L_1 L_2 L_3 sont tous identiques et disposés comme l'indique la fig. 2, dont je vais étudier un à un tous les détails.

Caisse et clapets d'amenée d'eau. — I est la caisse d'amenée d'eau, dans laquelle l'eau arrive constamment par le tuyau F. Cette caisse est séparée du bac à piston par une cloison verticale en fonte portant 7 rangées de 2 clapets en cuir avec surcharge en fer, disposés comme l'indique la fig. 4 de la Pl. IV. Ces clapets ont pour but d'empêcher l'eau de se dérober à la pression du piston pendant sa descente.

Bac à piston. — M est le bac à piston proprement dit, dans lequel se fait tout le lavage, et où se trouvent :

Le piston P.

Le crible laveur E.

La vanne déversoir *h*.

La vis sans fin pour l'enlèvement des schistes H.

Piston. — Le piston des bacs est une caisse rectangulaire en chêne avec clapet double à la base. Ses dimensions et sa disposition sont indiquées par les fig. 2 et 3 de la Pl. IV dont la légende ci-dessous permettra de comprendre tous les détails :

a. Assemblage à queue d'aronde.

b. Assemblage par deux tenons.

c. Œillets recevant les extrémités de la tige du piston qui se divise en forme de fourche pour s'attacher au piston. Ces œillets sont venus de forge à l'extrémité d'un boulon ayant pour longueur la hauteur du piston, et dont le bout fileté reçoit deux écrous qui maintiennent les clapets et leurs arrêts.

d. Garniture en cuir sur laquelle battent les clapets.

e. Clapet à deux charnières.

f. Arrêt limitant l'ouverture des clapets.

g. Platines en fer plat fixées par des vis à tête fraisée et servant à guider le piston.

h. Contreplatines fixées vis-à-vis des précédentes sur la caisse dans laquelle voyage le piston.

k. Remplissage en planches de peuplier fixées à la caisse et réduisant au minimum nécessaire le jeu autour du piston.

La commande du piston se fait comme le montre la Pl. II au moyen d'une manivelle à coulisse à laquelle s'attelle la tige du piston. La coulisse permet de régler par expérience la course à donner au piston.

Cribles laveurs. — Les cribles laveurs sont formés d'une tôle percée de trous ronds de 25 millimètres de diamètre portée par un cadre en fonte. Sur cette première tôle on place une seconde tôle de 1 millimètre d'épaisseur, percée de trous de 1 millimètre de diamètre disposés en quinconce de manière à laisser le moins possible de parties pleines s'opposant au mouvement de l'eau. Ces cribles sont forte-

ment inclinés comme le montre la fig. 1. Leur pente est de 166 millimètres par mètre.

Vanne déversoir. — La vanne *h* qui cache la vis sans fin servant à l'enlèvement des schistes, est une simple feuille de tôle avec cadre en fer plat rivé glissant entre deux cornières et venant s'appuyer à sa partie inférieure dans un logement ménagé *ad hoc* sur le cadre en fonte du crible laveur.

Vis sans fin pour schiste. — La vis sans fin H servant à l'enlèvement des schistes ne présente aucune particularité digne d'être signalée.

Grilles du déversoir. — Les grilles inclinées N sur lesquelles coule la nappe d'eau entraînant le charbon lavé, sont formées de toiles métalliques galvanisées dont la maille varie de 1 à 2 millimètres et demi. Ces toiles métalliques sont portées par une grille en fer dont les barreaux très-écartés sont fixés à un cadre en fonte dont le côté inférieur est l'auge K.

Vis mélangeuses et de transport. — Les deux vis sans fin qui forment l'appareil mélangeur sont identiques. Elles sont en tôle, d'un diamètre de 0m,500, d'un pas de 0m,400, et elles tournent dans une auge en fonte.

L'hélice n'a que 0m,140 de hauteur suivant le rayon, (Voir la fig. 5 de la Pl. IV) un vide étant ménagé tout autour de l'axe : elle est reliée à l'axe par des croisillons à quatre bras en fer. Tous les trois quarts de tour, elle porte des raclettes en tôle *r* de 60 millimètres de hauteur fixées suivant le rayon, comme l'indique la figure.

Cylindres broyeurs. — Le broyeur, que traversent tous les charbons avant d'arriver à la chaîne à godets qui les livre au four, se compose de deux cylindres en fonte lisse de 0m,550 de diamètre et de 0m,700 de longueur utile suivant l'axe. Leur installation, pas plus que leur mode de commande, n'offre de particularité digne d'être signalée.

Machine motrice de transmission. — La machine motrice

qui met en mouvement tous ces appareils est une machine horizontale établie au niveau du sol, en Q, voir la Pl. II. Elle a 0m,360 de diamètre au piston et 1m,100 de course. La pression de vapeur est de 4 atmosphères en moyenne.

Elle porte un assez fort volant et deux poulies pour courroies qui transmettent le mouvement à tout l'atelier.

Générateur à vapeur. — Les quatre générateurs, dont deux seulement sont simultanément en feu, sont disposés comme l'indiquent les *fig.* 6 et 7 de la Pl. IV. Ce sont des chaudières de 1m,100 de diamètre et 8 mètres de longueur avec tube réchauffeur unique de 0m,700 de diamètre. Ce tube est très-incliné, de manière à ne pas permettre à la vapeur de s'accumuler à la partie supérieure, ce qui amènerait une détérioration très-rapide de la tôle.

Il n'y a aucune division dans les carneaux qui sont très-grands. Les flammes des fours à coke entrent en *a* au-dessus d'une grille dont les barreaux sont perpendiculaires au grand axe de la chaudière et sur laquelle on met un peu de menu coke. Elles sortent en *b* pour aller directement à la cheminée commune à deux générateurs.

Lavoir Sievers établi au puits Schleswig à Hœrde près Dortmund (bassin de la Ruhr).

Description d'ensemble. — L'installation faite par Sievers et Ce, au puits Schleswig, à Hœrde, comprend en même temps, réunis dans le même atelier : le criblage, le triage et le lavage.

Elle prend le charbon tel que le livre l'exploitation, en sépare tout ce qui peut en être vendu directement et lave le reste.

La disposition d'ensemble de ce bel atelier est donnée par la Pl. III et la *fig.* 8 de la Pl. IV, à laquelle je renvoie et dont la légende suivante fera comprendre tous les détails.

Description du travail. — A est le plancher même de la

recette du puits d'extraction. Il porte en *a* un culbuteur qui sert à verser dans la trémie B les wagonnets de houille à leur sortie de la cage.

C'est un grand trommel dont la première moitié porte deux enveloppes, et qui donne quatre catégories de charbon.

Le plus gros, morceaux ne traversant pas des trous ronds de 105 millimètres percés dans la tôle de la dernière partie du trommel, est conduit par une glissière *d* sur une table tournante D, sur laquelle on enlève à la main toutes les impuretés.

Le moyen, morceaux ayant traversé les trous de 105 millimètres, mais ne traversant pas ceux de 66 millimètres que porte la tôle de la première partie du trommel, est conduit par une glissière *e* sur une table tournante E, installée à 3 mètres au-dessous de la première sur le même axe. Sur cette table on fait, comme plus haut, le triage de toutes les impuretés.

Le menu ayant traversé les trous de 66 millimètres de la première enveloppe, mais ne traversant pas les trous de 5 millimètres que porte la seconde enveloppe du trommel, tombe dans une glissière *f* qui le mène, par une double trémie *g*, à deux trommels identiques F,F', qui sont les trommels classeurs du lavoir.

Le fin, poussière ayant traversé la seconde enveloppe du grand trommel, portant des trous de 5 millimètres, qui est envoyé directement, sans lavage ni préparation aucune, par la glissière γ à la vis sans fin recevant le charbon lavé.

Revenons maintenant au menu destiné au lavage et que nous avons laissé dans les deux trommels F et F'.

Ces trommels, qui sont à simple enveloppe en tôle percée de trous de 30 millimètres de diamètre, donnent chacun deux grosseurs qui sont lavées isolément dans les lavoirs $G_1G_2G_3G_4$ établis au-dessous d'eux.

Les lavoirs, au nombre de quatre par rangée, deux pour

chaque grosseur, sont des bacs à pistons doubles sur la construction et le jeu desquels je reviendrai plus loin.

Ils donnent :

Du charbon lavé, que l'eau du lavoir entraîne dans les rigoles inclinées *h*, *h'* ;

Des schistes, que l'eau entraîne dans les rigoles *l*, *l'*.

Le charbon lavé est amené par les rigoles h, h_1 et h', h'_1, celui des deux premiers lavoirs de chaque rangée, le plus gros, dans le trommel H, et celui des deux derniers lavoirs de chaque rangée, le plus fin, dans le trommel H'.

Ces deux trommels H et H', qui sont établis au-dessous du niveau des lavoirs, sont des trommels sécheurs dont le rôle est de séparer d'avec le charbon qui reste sur la toile métallique formant leur enveloppe, l'eau de lavage qui la traverse et va aux bassins de dépôts où elle abandonne les schlamms entraînés par elle.

Au sortir des trommels sécheurs, le charbon lavé tombe dans une vis sans fin I disposée perpendiculairement à eux et recevant en son milieu le fin non lavé. Cette vis mélange et transporte le tout au-dessus d'une voie V sur laquelle circulent les wagonnets de chargement des fours à coke.

Les schistes sont entraînés dans les rigoles *l*, *l'*, jusqu'à une rigole R qui vient les verser dans les wagonnets se circulant sur une voie spéciale W, établie au-dessus d'une rigole dans laquelle tombe, après avoir traversé le fond à claire-voie du wagonnet, l'eau entraînée avec les schistes.

Toutes les eaux de lavage sont amenées par les rigoles O.O.O. dans l'un ou l'autre des deux systèmes de lavoirs de dépôt K.L.M.N. ou K'.L'.M'.N'., où elles suivent la marche indiquée par les flèches pour revenir par le canal Q à une pompe P, qui renvoie au lavoir l'eau dépouillée de ses schlamms. (Voir la *fig.* 8 de la Pl. IV.)

Les schlamms recueillis dans le bassin K, qui est beaucoup plus profond que les autres, sont des schlamms pauvres qu'on rejette.

Ceux au contraire qui se déposent dans les trois autres bassins L.M.N., après avoir franchi le déversoir *m* qui ne laisse passer que la nappe supérieure des eaux du bassin profond, sont mêlés au charbon lavé livré aux fours à coke.

Lorsque l'un des systèmes de lavoirs est rempli, et que le moment de le curer est venu, on place en *n* une vanne qui ferme l'accès des bassins K.L.M.N., et on lève la vanne *p* qui ouvre celui des bassins K'.L'.M'.N'.

Résultats obtenus. — Ce lavoir qui est mu par une machine unique, prenant sa vapeur sur les chaudières de la machine d'extraction, traite journellement 140 tonnes de charbon en huit heures.

Quant aux teneurs en cendres du charbon livré à l'appareil, et des différentes catégories obtenues, je n'ai pu les connaître exactement comme à Seraing, je m'abstiendrai donc de donner pour elles aucun chiffre.

Personnel nécessaire. — Tout le service de cet atelier est fait par :

Deux rouleurs qui viennent culbuter les wagonnets de mine au-dessus de la trémie du grand trommel classeur.

Deux filles, une par table de triage, qui nettoyent le charbon tombant sur les tables.

Une femme qui conduit les bacs à pistons, règle l'ouverture des vannes d'arrivée d'eau, d'écoulement des schistes, et surveille les appareils.

Deux rouleurs qui enlèvent les schistes dans des wagonnets spéciaux où ils s'accumulent.

Un machiniste qui conduit la machine et entretient les appareils.

Détails de construction des appareils.—Dans cette installation il n'entre, en dehors des glissières, trémies et rigoles qui réunissent les différents appareils, que trois appareils :

Des trommels.

Des tables de triage.

Et des bacs à piston.

Trommels. — Les cinq trommels employés dans cette installation sont à axe horizontal tournant dans deux paliers établis à ses extrémités. Sur cet axe sont fixées trois à cinq couronnes en fer qui forment les cercles sur lesquels repose la tôle ou les toiles métalliques constituant le trómmel.

Ce qui les distingue du trommel classeur employé par M. Rexroth, c'est qu'au lieu d'être cylindriques, ils sont coniques, l'angle de leur génératrice étant tel que les charbons introduits à l'intérieur du cône y cheminent naturellement sous la seule influence de la gravité. De cette manière on supprime l'hélice intérieure que M. Rexroth a dû adopter pour faire avancer les matières dans son appareil, mais le criblage est beaucoup moins complet et moins net, les matières séjournant moins longtemps dans l'appareil. Cette disposition, bien qu'adoptée presqu'uniformément dans toute l'Allemagne, n'est donc pas à recommander d'une manière absolue.

Ici, comme dans le trommel classeur de M. Rexroth, l'axe du premier trommel porte, en dehors du trommel et du côté de la trémie d'introduction, une vis sans fin de 0m,60 de longueur, qui va prendre dans la trémie les matières à cribler.

Tables de triage. — Les tables de triage, qui sont d'un usage général en Allemagne, et qui me semblent à recommander à plus d'un titre, sont de grandes couronnes en tôle de 5 mètres environ de diamètre extérieur et de 0m,75 de largeur suivant le rayon, avec rebord à l'intérieur.

Ces couronnes sont fixées à 0m,800 au-dessus du plancher, au moyen d'un croisillon en fonte très-léger, sur un axe vertical animé d'un mouvement de rotation continu.

Une trémie, dont on règle le débit au moyen d'une vanne, laisse arriver sur la table en quantité voulue pour la facilité du triage, le charbon à trier. Un rateau fixe étale sur la table les matières qui y arrivent, et près de ce rateau, en

avant de lui dans le sens de la rotation, est l'ouvrier chargé du triage, qui prenant à la main toutes les pierres, les rejette derrière lui dans une caisse disposée *ad hoc*.

Un peu en arrière de la trémie d'arrivée, est une raclette fixe en fer qui, faisant un angle aigu avec la tangente à la couronne en ce point, rejette dans une trémie établie latéralement et au-dessous, tout le charbon que le triage a laissé sur la table.

Lavoirs proprement dits.—Les lavoirs proprement dits, dont il y a quatre doubles à Schleswig, sont des bacs à piston dans lesquels le lavage se fait comme dans le lavoir Hexroth, sous l'influence d'un courant d'eau intermittent agissant au-dessous d'une grille inclinée sur laquelle arrive le charbon à laver : mais la construction en est complétement différente, et je crois utile de m'y arrêter un instant.

Chaque appareil double se compose d'une grande cuve en fonte profilée comme l'indique la *fig.* 1 de la Pl. III, reposant par quatre pieds sur le dé en maçonnerie qui sert de fondation à tout le système.

Cette cuve en fonte présente trois ouvertures rectangulaires P, Q et Q' ayant toutes trois pour largeur sa largeur transversale. Ces ouvertures portent assemblées sur elles à collets et boulons :

Les ouvertures Q et Q', le cadre en fonte des cribles, et l'ouverture P, le corps de pompe dans lequel se meut le piston.

Cribles. — Les cribles, dont la *fig.* 9 de la Pl. IV donne la disposition à plus grande échelle, présentent chacun la forme d'une pyramide renversée dont les quatre faces sont fermées par des toiles métalliques à maille très-fine supportées par une tôle percée de gros trous ronds, et dont le sommet est occupé par le tuyau qui sert à l'évacuation des schistes.

Ce tuyau T porte, fixé dans son intérieur, un second tuyau *t* faisant saillie de quelques centimètres au-dessus de la

grille et fermé par un bouchon conique *b*, qu'on peut lever au moyen du levier L. A sa partie inférieure, il débouche en dehors de la cuve au-dessus d'une rigole rectangulaire en tôle, qui longe toute la rangée des quatre laveurs, et est assez fortement inclinée pour que l'eau qui s'échappe avec les schistes, quand on lève le bouchon *b*, entraîne tout jusqu'à l'extrémité, où est placé le wagonnet à fond à claire voie qui sert de trémie collectrice dans laquelle s'accumulent les schistes.

Sur le crible, et enveloppant le tuyau saillant *t* autour duquel il laisse un espace annulaire libre de 60 millimètres, est un second tuyau θ dont on règle la hauteur au-dessus de la grille de manière à ce que les schistes puissent passer dans le vide V ainsi ménagé.

En avant de la caisse et rivée sur elle, est une rigole rectangulaire *k* (*fig.* 1 de la Pl. III). Dans cette rigole coule, au-dessus du déversoir D, à chaque pulsation du piston, une nappe d'eau très-mince entraînant le charbon lavé que sa pureté amène toujours à la partie supérieur du lavoir. Cette rigole, comme celle des schistes, longe tout le lavoir et est assez fortement inclinée pour que rien ne puisse s'y déposer.

Piston. — Le piston, qui est commun à deux cribles, consiste en un grand plateau rectangulaire en bois, fixé à un châssis en fonte en forme de fer à cheval présentant dans son évidement un cadre rectangulaire dans lequel agit une came qui donne au piston son mouvement de va et vient.

Pour assurer le guidage du piston, ce cadre, qui fait fonction de tige, porte à sa partie supérieure une tige passant dans un œillet-guide fixé par un arc en fonte au bâtis général du lavoir.

Le piston, dont la course est de 150 millimètres, donne onze impulsions par minute.

Des trous de vidange servent à l'enlèvement des schlamms qui s'accumulent au fond de la cuve.

Marche du lavage. — Dans les lavoirs ainsi disposés, le charbon arrive sur le crible d'une manière continue par la trémie dont on règle le débit au moyen de la vanne *y*. Et sous l'influence de l'eau que les impulsions faibles mais répétées du piston soulèvent au-dessus de la grille, les parties lourdes se séparent pour venir s'accumuler au fond du crible tandis que le charbon lavé occupe les couches supérieures.

Lorsqu'il s'est réuni dans le tuyau θ, et extérieurement à lui, sur le fond du crible, mais à un niveau moins élevé qu'à l'intérieur de cette espèce de siphon, une masse de schistes suffisante pour qu'il y ait certitude en ouvrant le bouchon *b* de ne laisser échapper que du stérile, on soulève le levier *l* sans arrêter le lavage, et le crible se trouve presque entièrement nettoyé.

Comme à chaque pulsation du piston il s'échappe au-dessus du déversoir, avec le charbon propre, une certaine quantité d'eau, on la recueille au-delà des bassins de dépôt pour la ramener sans cesse par une pompe et une conduite qui passant au-dessus des lavoirs, vient la verser au-dessus des pistons.

Lavage des schlamms au puits Dechen à Heinitz (bassin de la Saarre).

Les lavoirs précédents, comme tous les lavoirs connus, quel que soit leur système, donnent, en même temps que des charbons lavés, plus ou moins propres suivant la perfection du travail et la nature des charbons traités, des *schlamms*.

Ces poussières très-fines qu'on recueille dans de grands bassins de dépôt disposés d'une manière analogue à ceux de Seraing ou de Schleswig, sont souvent trop sales pour être utilisées dans la fabrication du coke. On a donc cherché à les laver pour en retirer au moins une partie du charbon contenu.

Ce que j'ai vu de plus satisfaisant en même temps que de

plus simple pour ce lavage toujours difficile, ce sont les *Setz-machines* installées à l'usine à coke de MM. Lamarche et Schwarz, au puits Dechen, près Heinitz (bassin de la Saare).

Description des Setz-machines. — Ces Setz-machines, qui depuis quelques années se sont beaucoup répandues en Allemagne pour le lavage des minerais métalliques, sont des cribles à piston, dont le piston imprime à l'eau un grand nombre d'oscillations, très-courtes mais très-rapides, au-dessous d'une grille à maille très-serrée sur laquelle on met un lit de quelques centimètres d'épaisseur de quartz à gros grains pour modérer l'influence du piston sur la masse d'eau à la surface de laquelle on n'aperçoit plus qu'une espèce de trépidation insensible.

Au-dessus de cette eau ainsi légèrement agitée, on fait passer, en lame mince, le courant d'eau dans lequel on a délayé les schlamms à laver. Cette eau animée d'un mouvement de translation horizontale, passant au-dessus d'une eau animée d'un léger soulèvement vertical, laisse déposer les matières les plus lourdes qu'elle entraînait, quel que soit leur degré de finesse. Et si l'on dispose à la suite les uns des autres une série de ces appareils, on arrive à débarrasser presque complétement les eaux schlammeuses des matières lourdes quelles contiennent, des matières impures par conséquent dans le cas des schlamms des houilles, et alors si à la suite de ces appareils, on établit des bassins de dépôt assez grands pour que les schlamms les plus fins et les plus légers s'y déposent, on recueille au fond de ces bassins la partie la plus pure des schlamms traités.

Setz-machines du puits Dechen. — Les setz-machines employées au puits Dechen ne sont qu'au nombre de deux; leur disposition est indiquée par la *fig.* 10 de la Pl. IV, dont la légende ci-dessous fera parfaitement comprendre tout l'agencement et le fonctionnement si l'on a bien saisi la description précédente.

A. Caisse en fonte formant la cuve et le bâti de l'appareil.

B. Caisse rectangulaire également en fonte ayant la même longueur que la cuve et dans laquelle voyage le piston.

C. Caisson rectangulaire en fonte reliant la cuve à la caisse du crible.

D. Caisse du crible.

E. Crible formée d'une tôle percée de trous disposés en quinconce de 1 millimètre de diamètre, tôle qui est fixée entre les collets d'assemblage de la caisse D avec la caisse C.

e. Couche de quartz en gros grains de 50 millimètres d'épaisseur.

d. Déversoir rectangulaire par lequel arrivent les eaux schlammeuses, sans charge aucune, à environ 50 millimètres au-dessus du lit de quartz.

F. Piston rectangulaire en bois suspendu à deux tiges *f* et *f'* traversant des guides *g*, *g'* et portant à leur extrémité une surcharge en forme de boulet.

G. Came dont le cadre est venu de forge sur la tige dont il fait partie intégrante et qui donne au piston son mouvement de va et vient.

H. Rondelles de caoutchouc superposées, enfilées sur la tige et serrées entre la portée qui termine le collier d'excentrique et l'arc-guide. Ces rondelles, comprimées pendant l'ascension du piston, forment ressort et réagissent pour activer la descente.

La course du piston n'est que de 40 à 45 millimètres et le nombre d'impulsions par minute dépasse la centaine, autant qu'on peut en juger à l'œil.

I. Est une tige commandant une vanne de décharge qu'on ouvre quand on veut enlever le stérile qui s'est déposé sur le lit de quartz et nettoyer ce quartz qu'il faut maintenir toujours assez propre pour être parfaitement perméable.

Installation d'ensemble du lavage des schlamms du puits Dechen. — L'ensemble de l'installation que j'ai vue à l'usine à coke de MM. Lamarche et Schwarz, est représenté par le

croquis donné fig. 11, Pl. IV, croquis dans lequel j'ai indiqué par des flèches la marche des eaux schlammeuses et dont la légende suivante explique toutes les parties :

A. Caisse longue en bois dans laquelle on jette à la pelle et délaye au milieu d'un courant d'eau, les schlamms à laver.

B. B'. Les deux setz — machines au-dessus desquelles passe le courant d'eau schlammeuse.

C. Conduit vertical en bois ramenant au niveau du sol toute l'eau schlammeuse débarrassée de stérile.

D. Canal incliné pour éviter tout dépôt allant à l'extrémité des bassins de dépôt.

E. E. Bassins de dépôt, dont l'un est en vidange pendant que l'autre se remplit.

F. Canal d'écoulement des eaux schlammeuses qu'on rejette, les considérant comme stériles.

Résultats obtenus. — Quand j'ai vu cette installation — 1869 — elle était toute nouvellle et les propriétaires n'étaient pas encore fixés sur les résultats qu'elle pouvait donner. Ils s'en disaient satisfaits, mais ne savaient encore ni quelle proportion de schlamm propre on pourrait retirer, ni à quelle teneur on pourrait réduire les schlamms traités.

Paris, 19 juillet 1872.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE II. — Lavoir Rexroth, établi à l'usine à coke de M. de Wendel, à Seraing.

Fig. 1. — Coupe transversale montrant la disposition des appareils.

Fig. 2. — Plan d'ensemble de tout l'atelier.

PLANCHE III. — Lavoir Sievers du puits Schleswig à Hœrde.

Fig. 1. — Coupe transversale montrant la disposition des lavoirs et des autres appareils.

Fig. 2. — Vue de face de tout l'atelier.

PLANCHE IV. — Détails de construction divers.

— Lavoir Rexroth.

Fig. 1. — Trommel classeur. Coupe transversale.

Fig. 2 et 3. — Piston des lavoirs. Plan et coupe.

Fig. 4. — Clapets de retenue du lavoir.

Fig. 5. — Coupe de la vis mélangeuse et de transport.

Fig. 6 et 7. — Générateur à vapeur chauffé par les flammes perdues des fours à coke.

— Lavoir Sievers.

Fig. 8. — Plan d'ensemble montrant la marche des eaux.

Fig. 9. — Coupe d'un crible laveur, par un plan parallèle au grand axe.

— Lavoir des schlamms de MM. Lamarche et Schwarz au puits Dechen à Heinitz.

Fig. 10. — Setz-Machine.

Fig. 11. — Plan général de l'atelier.

NOTE

SUR LA CARTE GÉOLOGIQUE DE LA SUÈDE.

Par M. EDMOND FUCHS, ingénieur des mines.

Les cartes topographiques et géologiques à grande échelle ont reçu de nos jours des applications industrielles, commerciales et militaires si nombreuses et si importantes, que l'on peut en quelque sorte mesurer le développement social d'une nation d'après le degré d'avancement et de perfection des cartes qu'elle possède ou dont elle a entrepris l'exécution. Aussi est-il tout à la fois intéressant et instructif d'étudier les efforts tentés par les différents peuples, dans le but d'arriver à une connaissance de plus en plus approfondie du relief topographique et de la constitution géologique du sol qu'ils habitent.

A ce titre, le grand travail entrepris par la Suède pour l'étude géologique de la péninsule scandinave (*Sveriges Geologiska Undersökning*) nous paraît mériter une attention toute spéciale, et nous nous proposons d'examiner ici les cartes, nombreuses déjà, ainsi que les publications qui traduisent les résultats de cette étude et qui constituent l'un des monuments géologiques les plus considérables de l'Europe.

Ayant été chargé, à plusieurs reprises, de missions d'étude dans divers districts miniers de la Scandinavie, nous avons été mis à même d'apprécier le puissant intérêt scientifique et l'importance technique de ce travail, ainsi que la grandeur et la nature des difficultés que présente son accomplissement. Aussi avons-nous saisi avec empressement l'occasion

qui nous a été offerte, — à propos de la constitution définitive du service de la carte géologique détaillée de la France, — d'étudier l'organisation, le mode de fonctionnement et le programme de la commission suédoise ; et nous serions heureux, si l'on pouvait voir dans ces lignes le témoignage de notre gratitude pour l'accueil dont nous avons été l'objet pendant nos explorations en Suède, et celui de notre sympathique admiration pour un peuple qui a su trouver, dans ses institutions morales et dans le développement de sa vie religieuse, le point d'appui et le régulateur de sa liberté.

I.

La Suède présente une superficie de 44.159.500 hectares ; sur ce nombre, 5.000.000 d'hectares seulement sont soumis à la culture ; une surface à peu près égale, soit 5.699.000 hectares, est occupée par des lacs, des marais ou des cours d'eau, et le reste, c'est-à-dire plus de 75 p. 100 de la superficie totale, est couvert de bois ou formé de rochers impropres à toute végétation.

Sur ce vaste territoire, dont l'étendue est à peu près égale à celle de la France, la population, malgré son accroissement rapide (*), est encore à un état de dis-

(*) L'accroissement de la population suédoise a été, pour la période de 1860-1865, de 1,32 par an, ce qui conduit au doublement de la population en 54 années environ. Pour la même période, les principaux États de l'Europe ont donné les résultats suivants :

ÉTATS.	ACCROISSEMENT annuel de la population.	PÉRIODE du doublement.
Saxe	1,61	43 ans 1/2
Norwége	1,42	49 »
Danemark	1,34	52 »
Suède	1,32	54 »
Prusse	1,22	57 »
Angleterre	1,16	60 1/2
Pays Bas	0,95	73 »
Belgique	0,88	79 »
France	0,75	93 »
Suisse	0,50	137 »

persion extrême, car elle ne s'élevait, en 1865, qu'à 4.115.000 âmes, ce qui fait en moyenne à peine 10 habitants par kilomètre quarré. Il est juste d'ajouter que cette distribution est loin d'être homogène, puisque les solitudes de la Laponie (Norrbotten et Westerbotten) contiennent à peine 1 habitant par kilomètre quarré, alors que les provinces bien plus favorisées du Sud, telles que le département Malmöhus, par exemple, renferment dès aujourd'hui 70 habitants environ par kilomètre quarré, c'est-à-dire une population dont la densité est peu inférieure à celle de la moyenne de nos départements français.

Les vastes dimensions du champ d'exploration, sa solitude, l'absence sur la plus grande partie de son étendue de ces investigations constantes que fournissent l'agriculture et l'industrie, telles sont donc les premières et sérieuses difficultés que présente l'étude géologique de la Suède. Mais il y en a d'autres encore, et de tout aussi graves, qui résultent de la constitution même du sol de la Scandinavie.

Le sol de cette vaste péninsule est, en effet, presque exclusivement formé par les roches et les assises qui sont placées aux extrémités de l'échelle géologique : les terrains primitifs et les terrains récents, c'est-à-dire ceux qui sont postérieurs à la période tertiaire. Or ces terrains sont loin de présenter ces alternances si variées de composition et de structure, qui sont en quelque sorte l'apanage des formations intermédiaires et qui donnent à chacune de ces formations un cachet extérieur, un relief et tout un ensemble de propriétés industrielles et agricoles qui leur sont propres; ils possèdent au contraire des analogies de structure et de compositions telles, que les nuances de détail s'effacent sous les caractères d'ensemble toujours groupés autour d'un nombre restreint de types. Aussi les paysages de la Suède se distinguent-ils entre tous par une monotonie mélancolique, mais pleine de grandeur sévère et d'austère poésie.

L'étude géologique d'une région ainsi constituée ne peut se présenter que sous deux aspects en quelque sorte opposés. Ou bien elle se contente d'embrasser la contrée dans son ensemble et d'esquisser à grands traits les lignes générales, nécessairement très-simples de sa constitution, ou bien au contraire, elle entre dans le détail des variations de composition et d'allure des rares termes de la série géologique représentés dans la contrée, relève les divers ordres d'accidents stratigraphiques qui affectent ces formations, et signale les filons métallifères, si fréquents dans les terrains anciens, où leur nombre et leur variété forment un heureux contraste avec la monotonie des roches encaissantes.

La première de ces deux études se traduit par des cartes à petite échelle, dont l'intérêt est naturellement en rapport avec leur simplicité même ; la seconde exige au contraire des cartes topographiques à grande échelle et d'une extrême précision ; elle nécessite, en outre, un travail d'observation minutieuse, une série incessante d'investigations de détail dont la difficulté est amplement compensée par la variété, la richesse et la valeur industrielle des résultats auxquels conduisent ces recherches. Aussi la description géologique de la Suède, loin de traverser, comme celle des autres pays de l'Europe, une série de perfectionnements graduels, s'est-elle élevée, presque sans transition, de l'état d'ébauche imparfaite à un degré d'achèvement détaillé et de perfectionnement comparables à ceux des descriptions géologiques des pays les plus favorisés sous ce rapport.

Dès le commencement de ce siècle, M. Hisinger, complétant par ses observations personnelles les études entreprises à peu près simultanément par Haussmann, Berzelius, Sefström, etc., publiait une première carte reproduisant à grands traits les lignes principales de la constitution géologique de la péninsule Scandinave.

Les années qui suivirent cette publication furent consacrées principalement à des études géologiques locales,

embrassant les districts métallifères, dont la multiplicité est, comme nous l'avons fait observer, une conséquence directe de la grande extension des terrains primitifs, et dont l'exploitation constitue une des bases de la richesse nationale. Aussi nous suffira-t-il de citer les publications de MM. Keilhau, Erdmann, etc., auxquelles viennent se joindre d'importantes études faites par des savants étrangers, telles que les mémoires de MM. Haussmann, Werner, Reuss, Bischof, Daubrée et surtout le remarquable travail de M. Durocher sur les gîtes métallifères de la Scandinavie, pour montrer l'activité féconde des recherhes géologiques de cette période.

Mais déjà la carte de M. Hisinger était jugée insuffisante et vers 1850 une nouvelle série d'explorations géologiques, ayant pour but l'établissement de cartes plus détaillées, furent entreprises sous l'impulsion de la *Société d'agriculture et d'économie de la province d'Upsal.*

Le gouvernement comprit bientôt qu'il devait prendre la direction de ce mouvement dû à l'initiative privée, et, dans sa session de 1856-1857, la Diète suédoise, accédant aux conclusions d'une proposition royale, décréta l'institution d'une commission chargée de faire le relevé géologique de la Suède et de publier les cartes qui traduisent les résultats de cette étude.

Cette commission, composée d'un directeur, de huit géologues, d'un ingénieur chargé des nivellements, et d'un chimiste conservateur des collections, a commencé ses explorations dès l'année 1858 (*), et les a poursuivies depuis cette époque, avec une activité et un succès toujours croissants, malgré la mort prématurée de son premier directeur, M. Axel Erdmann, aujourd'hui remplacé par M. le professeur Otto Torell.

(*) Les explorations géologiques ont lieu exclusivement pendant les mois de mai à octobre; le reste de l'année est consacré au dessin des cartes et à la publication des mémoires qui s'y rattachent.

Le budget mis à sa disposition (*) était, pendant les trois premières années, de 20.000 rixdalers, soit 28.000 francs; il s'est élevé dès 1867 à 60,000 rixdalers, c'est-à-dire à 84.000 francs, et ce chiffre a été maintenu jusqu'à ce jour.

Ajoutons enfin qu'un vaste local, proportionné à l'importance de l'œuvre et satisfaisant aux exigences complexes d'un relevé géologigue, a été mis, en 1866, à la disposition de la commission suédoise.

Ce local, situé dans le Palais des Arts et Métiers de Stockholm, se compose d'une bibliothèque, d'un laboratoire de chimie, de quatre salles de travail et d'un vaste espace de 27 mètres de long sur 13 de large, qui a la hauteur de deux étages et qui est destiné à recevoir les collections recueillies et conservées à l'appui des cartes et des publications.

Cet ensemble de ressources peut paraître modeste quand on le compare, en valeur absolue, aux riches dotations accordées au *Geological Survey* d'Angleterre et à la *Geologische Reichsanstalt* d'Autriche. Mais il ne faut pas oublier qu'il est, toutes proportions gardées, au moins égal sinon supérieur à ces dernières, si l'on tient compte des conditions économiques et sociales où se trouve placée la Suède. Il constitue d'ailleurs un instrument de travail répondant pleinement aux besoins de la commission suédoise, et dont celle-ci a su tirer, comme nous allons le montrer, un parti d'une importance capitale.

II.

Placés, comme nous l'avons indiqué plus haut, entre l'alternative du perfectionnement des cartes à petite échelle,

(*) Le traitement du directeur est de 8.400 francs; celui des autres membres de la commission varie, suivant la durée de leurs services, de 840 à 4.200 francs.

et celle de l'établissement à nouveau de cartes assez grandes pour qu'elles puissent mentionner tous les détails de composition des divers terrains, M. Erdmann et ses collaborateurs adoptèrent résolument cette dernière solution.

Une carte à petite échelle, en effet, eût été suffisante pour la solution scientifique des problèmes de la géologie scandinave, mais elle n'eût offert, sur la constitution du sol, que des indications sommaires, d'une faible valeur pour les populations industrielles et agricoles de la Suède. Or, pour mener à bonne fin l'œuvre de l'établissement de la carte géologique, il fallait s'assurer, non-seulement l'intérêt et la bienveillance, mais encore le concours actif, dévoué, incessant de ces populations.

Aussi la commission géologique de la Suède prit-elle, pour base de ses tracés, les cartes à l'échelle de 1/50.000e, publiées par la section topographique du corps de l'état-major, ou, à leur défaut, celles à la même échelle du bureau de la cartographie agricole ; les explorations et les relevés sur le terrain sont faits et dessinés sur les photographies des minutes de ces mêmes cartes, dressées au 25.000e, c'est-à-dire à une échelle double.

Le choix de ces cartes, qui ne donnent que la planimétrie du sol, sans en figurer le relief, a fixé le cadre du travail de la commission suédoise et exercé une influence prépondérante sur les caractères généraux et le cachet tout spécial que possède son œuvre.

Le plus saillant de ces caractères, est l'importance attachée à l'étude topographique de la contrée : des observations hypsométriques, d'une extrême précision, accompagnent les relevés géologiques et fournissent le nivellement d'une série de lignes, orientées en général de l'est à l'ouest, distantes de 4 à 5 kilomètres l'une de l'autre, et reliées entre elles par des lignes d'orientation variable et choisies de manière à atteindre tous les points intéressants du relief topographique.

Les résultats de l'opération sont consignés, sur le terrain même, par des repères fixés d'une manière invariable au sol ou au rocher, et mentionnés sur la carte en pieds et dixièmes de pieds suéduois, c'est-à-dire avec une approximation supérieure à 3 centimètres. On supplée ainsi, au moins en partie, à l'absence totale d'indications relatives au relief du sol sur les cartes publiées jusqu'à ce jour par l'état-major suédois (*), absence dont M. Erdmann se console un peu aisément peut-être et qui lui paraît même présenter l'avantage d'éviter, sur les cartes, une surcharge qui pourrait influer d'une manière fâcheuse sur la netteté des couleurs.

Nous n'insisterons pas sur cette étrange illusion, et nous nous contenterons d'exprimer notre regret sur une lacune qui ôte aux indications de la carte suédoise un des priviléges essentiels, sinon même le principal mérite des cartes géologiques, celui de traduire et d'expliquer les accidents du relief topographique.

Cette réserve faite, il est juste de signaler les efforts incessants, les travaux variés faits par la commission suédoise pour atténuer les inconvénients qui résultent de l'absence de tout figuré topographique.

C'est d'abord une carte d'ensemble, à l'échelle du millionième, contenant les courbes de niveau espacées de 100 pieds suédois, depuis le niveau de la mer jusqu'à l'altitude de 800 pieds, et espacées de 200 pieds pour les altitudes plus grandes ; quelques fragments de cette carte, dont l'avancement paraît devoir marcher de front avec les travaux géologiques, font partie de l'atlas joint au mémoire de M. Erdmann sur les formations quaternaires de la Suède.

(*) L'état-major suédois prépare, il est vrai, un figuré très-soigné du relief destiné à compléter sa carte; mais ce figuré, peu avancé encore, est provisoirement considéré comme ayant un but purement militaire, et ne doit en conséquence, au moins pour le moment, pas être livré à la publicité.

Ce sont, en deuxième lieu, les descriptions topographiques, d'une netteté et d'une précision extrêmes, intercalées dans les publications servant de texte à chacune des feuilles de la carte. Ces publications, qui reflètent plus particulièrement le caractère et les aptitudes des divers membres chargés de la rédaction, renferment souvent des aperçus qui ne manquent ni d'originalité ni de poésie. Nous citerons, par exemple, la description pittoresque de l'extrémité du lac Vettern, par M. Sidenbladh; celle de la fameuse cascade du Trollhättan, par le même auteur, enfin celle du lac Mälar et de ses rives accidentées par M. Torneböhm.

Mais il y a plus; toutes ces études hypsométriques et les descriptions qui les résument n'ont pas seulement pour but de combler une lacune topographique sur les cartes; elles ont leur propre raison d'être et constituent, par l'importance de leurs applications, un des leviers les plus puissants employés par la commission suédoise, pour susciter, en faveur de son œuvre, l'intérêt de la nation tout entière.

On sait, en effet, que l'imperméabilité du sol de la Suède, jointe à la solidité exceptionnelle des roches qui le composent, et à la faible accidentation de son relief, a donné naissance à une série à peu près innombrable de lacs de toutes dimensions, dont l'existence forme un des traits les plus caractéristiques des paysages suédois. La plupart de ces lacs présentent des variations de niveau considérables; ainsi, pour ne citer qu'un exemple, le lac Hjelmar élève ou abaisse, suivant les saisons, à peu près annuellement ses eaux de 1 mètre au-dessus ou au-dessous de leur niveau moyen. Or les bords et le fond de ce lac se raccordent d'une manière si insensible qu'il existe, sur ses rives, plus de 50 kilomètres quarrés dont la hauteur au-dessus du niveau moyen de ses eaux est inférieure à $0^{m},60$.

On comprend donc l'intérêt agronomique qui s'attache

à l'étude de l'hydrologie de la contrée, car cette étude est le prolégomène indispensable de toutes les entreprises qui ont pour but de régulariser le régime et l'écoulement des eaux, et surtout de provoquer l'abaissement définitif du niveau qu'elles occupent dans leurs innombrables réservoirs naturels.

C'est elle qui a servi de base à ces grands travaux de canalisation, entrepris depuis le commencement de ce siècle et poursuivis sans relâche, qui permettent de soustraire aux inondations périodiques, ou de conquérir, à nouveau et définitivement, de vastes espaces pour la culture. Le géologue détermine, à l'avance, la nature et par suite la richesse agricole de ces conquêtes, et donne ainsi, par anticipation, la mesure de la valeur et de l'opportunité du travail de l'ingénieur.

Des observations du même ordre s'appliquent au grand phénomène d'oscillation lente que subit le sol de la Suède et qui est, depuis quelques années, l'objet de mesures très-précises. Aussi trouvons-nous dans le travail de la commission géologique de la Suède tout ce qui peut jeter quelque lumière sur cette importante question : la discussion approfondie des traditions locales, l'étude attentive des vestiges de l'industrie humaine, et principalement de celles qui, comme les *Borglemningar* (restes d'enceintes fortifiées) et les *Segelled* (routes navigables), présupposent une distribution déterminée des eaux (*) et fournissent ainsi sur l'orographie ancienne de la contrée des renseignements d'une extrême précision.

(*) Disons en passant que ces études ont montré que l'oscillation du sol suédois était, dans son ensemble, beaucoup moins considérable que certaines observations spéciales ne l'avaient fait supposer ; car l'existence des fameux *Segelled*, jalonnés par les anneaux de fer (*Jernring*) servant à l'amarrage, n'a pu être constatée, malgré les recherches les plus minutieuses de la commission géologique, recherches provoquées par la persistance des traditions locales.

Quant aux autres antiquités, *tumuli*, pierres runniques (*runstenar*), groupes de pierres levées (*stensättningar*), glyphes tracés sur les rochers (*hällristningar*), dolmens, chambres sépulcrales (*hällekistor*), restes d'habitations (*ättehögar*), etc., elles ont été également relevées sur le terrain, reportées sur les cartes, et décrites dans les publications qui accompagnent ces dernières, et cela malgré le peu de rapports immédiats de ces monuments avec la géologie et ses applications, afin de compléter le cycle des documents archéologiques, et de rendre ainsi plus intimes et plus nombreux les liens de solidarité qui unissent l'œuvre de la carte géologique suédoise au mouvement intellectuel du pays tout entier.

III.

La partie géologique proprement dite de l'œuvre de la commission suédoise procède de la même préoccupation, et satisfait, elle aussi, aux intérêts de l'agriculture et de l'industrie autant qu'aux préoccupations spéculatives de la science proprement dite. Ainsi, les cartes fournissent le relevé des principales matières utiles contenues dans le sol de la Suède, et mentionnent avec soin les lieux précis de leur exploitation ou de leur utilisation industrielle. De plus ces documents sont complétés et développés, dans les publications qui accompagnent les cartes et leur servent de texte explicatif, par des renseignements détaillés sur l'allure et la richesse des gîtes minéraux.

Nous ne nous étendrons pas sur cette partie du travail de la commission suédoise, dont le mérite consiste surtout dans le soin minutieux avec lequel elle a été exécutée. Le relevé et la description des gîtes de matières utiles ont été, de tout temps, considérés comme constituant une partie intégrante des cartes géologiques, et ces dernières ont même commencé par être principalement des statistiques de substances exploitables et de curiosités minéralogiques.

M. Erdmann et ses collaborateurs n'ont donc fait qu'entrer largement dans la voie qui, pressentie dès le siècle dernier par Guettard et Monnet, a été tracée, avec une sûreté extrême, par les auteurs de la carte géologique de la France, et qu'ont suivie, avec plus ou moins de netteté et de méthode, tous ceux qui ont coopéré à l'achèvement de cartes géologiques détaillées. Peut-être même est-il permis de regretter que les indications techniques de la carte suédoise ne possèdent pas entre elles un lien systématique suffisamment étudié, pour qu'elles puissent servir de relevé statistique complet des richesses minérales du pays.

En revanche, les indications agronomiques ont à la fois une originalité et un degré de précision que ne possède aucun autre document géologique analogue. Il est vrai que l'imperméabilité à peu près absolue du sous-sol scandinave et le peu de variations de sa constitution lithologique réduisent le problème agricole presqu'exclusivement à l'un de ses termes, l'étude des terrains de transport superficiels.

Cette étude présente en Suède, à côté de son intérêt pratique, un attrait tout spécial, grâce à la richesse et à la variété des dépôts qui composent les terrains récents, à la netteté de leur superposition, à la multiplicité de leur origine, enfin à l'originalité de l'allure de quelques-uns d'entre eux.

Ce sont d'abord les *argiles et sables avec cailloux anguleux* (*Krosstensgrus*), qui recouvrent ou ont recouvert une grande partie de la Suède centrale et méridionale ; on les retrouve à la base de tous les autres terrains de transport et leur dépôt est entièrement lié au puissant phénomène qui a produit le striage et le polissage des roches, ainsi que le transport principal des grands blocs erratiques.

Viennent ensuite une série complexe de dépôts dont les éléments à formes arrondies accusent un transport ou tout au moins une agitation sur place au milieu de l'eau, et au

premier rang desquels il faut placer ces puissantes accumulations presque linéaires de graviers et de sables auxquelles on donne en Suède le nom d'*Åsar*. Semblables à des digues immenses, qui s'élèvent parfois à plus de 60 mètres au-dessus du sol environnant, ces Åsar parcourent la Suède du nord au sud, et se poursuivent sur une longueur, qui, pour les huit principaux d'entre eux, atteint et dépasse même 300 kilomètres. Leur enveloppe superficielle est essentiellement composées d'éléments roulés (***Rulls tens grus***, ***Svallgrus***), tandis que leur noyau central conserve les formes plus anguleuses du Krosstensgrus auquel il est emprunté.

Adossée contre les Åsar, se trouve une formation généralement argileuse, quelquefois marneuse, rarement et localement sablo-caillouteuse, dont le développement est comparable à celui du terrain à cailloux anguleux sur lequel elle repose, mais qui en diffère par la présence de fossiles marins constituant une faune essentiellement arctique.

C'est l'ensemble des terrains distingués sur les cartes, par les dénominations d'*argile glaciale stratifiée* (*) (***Hvarfvig lera***), ***marne glaciale*** (***Hvarfvig mergel***), ***sable glacial*** (***Hvarfvig sand***). Leur puissance varie de 3 à 15 mètres, suivant la dimension plus ou moins grande des bassins de dépôt, mais ils ne paraissent jamais s'élever à plus de 60 mètres au-dessus du niveau de la mer, alors que les

---

(*) Nous avons conservé, dans ce travail, les expressions françaises adoptées, pour traduire les dénominations géologiques de la carte suédoise, par M. Erdmann lui-même dans le résumé qu'il a publié en français de son « *Exposé des formations quaternaires de la Suède* ». Nous faisons une observation analogue pour l'expression de *terrains quaternaires*, qui serait avantageusement remplacée par celle de *terrains récents*, la série des termes géologiques auxquels elle correspond, formant en quelque sorte le pendant de celle qui, antérieure aux terrains primaires, est désignée par le nom de *terrains primitifs* sur la carte suédoise.

Åsar s'observent, dans les mêmes régions, jusqu'à l'altitude de 350 et même de 400 mètres.

Ce groupe de dépôts est recouvert par une série d'autres également marins, mais dont la faune perd de plus en plus son caractère *arctique*, pour se rapprocher de celui qui est propre aux espèces actuellement vivantes dans la mer Baltique. C'est l'*argile des champs* (*Åkerlera*), vaste formation qui recouvre une grande partie du sol de la Suède, et qui est, par excellence, le domaine de l'activité agricole.

Elle est formée par une sorte de limon argileux, dont la puissance moyenne est de 3 à 4 pieds seulement, et dont la partie inférieure affecte dans les terres basses, au bord des lacs ou des cours d'eau, un caractère lithologique assez net, une allure et des propriétés agricoles assez tranchées, pour être distinguée sur les cartes sous le nom d'*argile noire* (*svart lera*).

C'est dans cette *argile noire* que l'on peut étudier la faune, très-riche sur la côte de la mer du Nord, pauvre au contraire dans le bassin et sur les côtes de la Baltique, qui caractérise la période géologique pendant laquelle son dépôt s'est effectué. Nous rappelons d'ailleurs qu'à l'inverse de la précédente, cette faune se compose en grande partie d'espèces encore vivantes dans les mers voisines.

Accidentellement l'*argile des champs* est recouverte, dans le voisinage des Åsar, par des dépôts sableux que l'on a distingués sous le nom de *sable postglacial* ou de *sable de bruyère* (*Mosand*), et dont la formation coïncide avec l'arrondissement définitif des Åsar, auquels leurs éléments sont empruntés.

Enfin, terminant la série de tous les dépôts récents, viennent les *alluvions modernes*, qui ont été, à cause de leur importance agricole, l'objet d'un classement extrêmement soigné.

Aussi les cartes mentionnent et distinguent-elles *le sable alluvionel* (*Svämm-sand*), *l'argile alluvionnelle* (*Svämm-*

lera), le *limon* (*Gyttja*), avec une notation spéciale pour les accumulations des fossiles d'eau douce, enfin les *alluvions tourbeuses* (*Torfdy*), et *les tourbes* proprement dites (*Mosstorf*).

Mais ce n'est pas tout; les géologues de la commission suédoise ne se sont pas contentés de délimiter sur les cartes, avec une précision minutieuse, les nombreuses subdivisions dont nous venons de donner une rapide analyse, et qui n'ont leurs équivalents dans aucune autre carte géologique détaillée; ils ont voulu compléter les indications relatives à la distribution topographique des terrains de transport par une étude détaillée de la constitution chimique et agricole de ces divers terrains, et grouper ensuite tous les résultats scientifiques de cette étude dans un grand travail d'ensemble, donnant la solution complète des problèmes relatifs à l'origine, au mode de formation et à la distribution de tous les dépôts quaternaires.

L'étude chimique détaillée de ces formations a été résumée, pour chaque carte, dans la brochure qui sert de texte explicatif à cette dernière. Elle en forme même un des chapitres les plus importants, et comprend, non-seulement les analyses des divers groupes de terrains, mais encore une description soignée de leurs principaux termes, et l'indication, si précieuse pour l'agriculture, des variations locales de leur épaisseur et de leur mode de superposition.

Quant au grand travail d'ensemble, il a été publié par M. Erdmann, en 1868, sous le titre de: *Bidrag till Kännedomen om Sveriges Quartära Bildningar*, vaste mémoire dont l'auteur a donné lui-même un résumé français intitulé: *Exposé des formations quarternaires de la Suède*. Le texte de cet ouvrage est accompagné d'une série de cartes d'ensemble, qui font connaître le mode de distribution générale des principaux terrains de transport, *l'argile glaciale*, *l'argile noire* et les *alluvions tourbeuses*, le parcours des Åsar, leurs profils et leurs coupes longitudinales, les directions

principales des stries gravées sur les rochers (*Räflor och repor*), enfin l'emplacement des divers groupes d'antiquités que nous avons mentionnés plus haut.

L'étude et la discussion des résultats théoriques consignés dans ce travvail sortent du cadre de cette étude ; nous rappellerons seulement que M. Erdmann assimile le *Krosstensgrus* à une vaste moraine de fond, correspondant à une période glaciaire, dans laquelle l'absence du Gulfstream, la fermeture occidentale de la Baltique et sa communication avec la mer Blanche auraient couvert une grande partie de la Scandinavie d'un immense glacier continental ; et qu'il considère les Åsar comme des cordons littoraux, dus à l'ensevelissement ultérieur et progressif du continent sous la mer. Cette deuxième époque, qui se termine par le dépôt de l'*argile glaciale* et de ses congénères, aurait été suivie d'une nouvelle période d'oscillations ascendantes, marquée par le dépôt de l'*argile des champs*, et coinciderait ainsi, sans doute, avec l'apparition du Gulfstream et l'émersion de la Finlande, c'est-à-dire avec l'isolement de la mer Baltique d'avec l'océan glacial et sa réunion avec la mer du Nord.

Nous ajoutons d'ailleurs que ces conclusions sont appuyées sur des faits si nombreux et si bien étudiés, que, dût-on faire des réserves à leur égard, on ne peut s'empêcher de constater qu'elles rendent compte des faits avec une netteté et une précision qui leur donnent tout au moins une haute valeur scientifique.

Quant aux terrains plus anciens, nous n'avons que peu de chose à en dire : La rareté de leur apparition au milieu des formations précédentes à l'état d'îlots isolés ne permet guère, à la seule inspection de cartes, de se faire une idée bien nette sur leur allure d'ensemble. Mais l'on trouve déjà, dans les notices explicatives, d'excellentes monographies des roches cristallines relatives à quelques districts spéciaux, et, d'une manière plus générale, des

renseignements très-précis sur l'allure et l'âge relatif de ces diverses roches, sur leur constitution lithologique et leur composition chimique, sur les minéraux essentiels et accidentels qu'elles renferment. Tous ces renseignements, encore isolés aujourd'hui, forment une série de matériaux d'une valeur incontestable et fourniront un jour les éléments d'un vaste travail d'ensemble sur les problèmes complexes que soulève l'étude de ces roches. Mais ce moment n'est pas encore arrivé et nous ne pouvons que rendre justice à la parfaite bonne foi scientifique avec laquelle les membres de la commission mentionnent les rares modifications de détail nécessitées, dans la classification des roches cristallines ou des terrains primitifs, par suite de leur étude plus complète et plus attentive. Aussi réservons-nous, pour le moment, toute appréciation à l'égard de cette partie du travail de la commission suédoise, et nous sommes d'autant plus naturellement conduits à le faire, que le sous-titre de l'ouvrage de M. Erdmann sur les terrains quaternaires : « *Premier compte-rendu des résultats acquis* (*), » nous permet d'espérer la publication de travaux d'ensemble du même ordre pour tous les grands groupes géologiques naturels de la Suède, les terrains de transition, les roches cristallines et les gites métallifères.

IV.

Il nous reste maintenant à passer brièvement en revue les résultats matériels obtenus jusqu'à ce jour par la commission suédoise. Treize années seulement se sont écoulées depuis son institution, et déjà elle a livré au public quarante-cinq cartes, accompagnées chacune de son texte explicatif, et embrassant une superficie totale de près

(*) *Sammanfattad redogörelse för dervid vunna resultater. — I. Quartära Bildningar.*

de 30.000 kilomètres quarrés, c'est-à-dire à peu près la quinzième partie de la surface totale de la Suède. Ces cartes sont imprimées en chromolithographie, et l'on retrouve, dans le principe adopté pour leur coloriage, la préoccupation de rendre bien sensible à première vue la distinction entre les formations de transport et les autres terrains. Les premières sont représentées par des couleurs pâles, les différents terrains de chaque groupe naturel étant figurés par des teintes très-voisines les unes les autres; on a réservé au contraire pour les seconds des teintes vives et des couleurs fortes, comme pour rendre saisissable aux yeux le phénomène de leur émersion à l'état d'îlots rocheux au milieu des vastes plaines formées par des terrains récents. La multiplicité, la variété et parfois l'exiguité de ces îlots remplissent involontairement l'esprit d'étonnement, et le géologue reste confondu à la pensée du prodigieux labeur que présuppose le dessin de leurs contours.

Mais, d'un autre côté, c'est cette complexité même qui fait ressortir plus vivement les inconvénients résultant de l'absence de tout figuré topographique, car cette absence enlève aux contours des formations leur finesse, leur flexibilité et pour ainsi dire leur raison d'être immédiate. Il en résulte que la lecture des cartes exige une observation attentive et prolongée, et que leur intelligence nécessite même souvent le concours des coupes annexées, en assez grand nombre, au texte explicatif de chaque feuille. Nous ferons aussi quelques réserves sur le choix des couleurs, qui, obtenues pour la plupart à l'aide de superpositions, présentent parfois un manque d'harmonie et même une crudité fort préjudiciable à l'impression produite sur l'observateur. Il est vrai de dire que ces procédés donnent des résultats économiques très-satisfaisants, et qu'ils permettent de livrer au public chaque carte, avec le texte qui l'accompagne, pour la modique somme de 2 Riksdaler Rmt. (2f,80.)

Les brochures servant de texte explicatif sont rédigées suivant un type uniforme, qui a été en se perfectionnant dans le cours du travail et qui est aujourd'hui parfaitement approprié au but qu'elles doivent remplir. Une première partie est consacrée à la description topographique minutieuse de la région, et cette description est faite, comme nous l'avons dit plus haut, au triple point de vue hydrologique, agronomique et industriel; puis vient une étude complète des divers terrains figurés sur la feuille, accompagnée des coupes de détail et des analyses chimiques nécessaires à leur parfaite intelligence. Un troisième chapitre, que nous avons eu occasion de mentionner souvent déjà, est consacré aux terrains de transport; enfin la brochure se termine par les indications statistiques qui complètent le travail : tel que le relevé des sources naturelles et de leur température, celui des repères du nivellement, enfin la nomenclature des monuments de l'antiquité préhistorique.

Ces brochures, dont le cadre est assez vaste pour laisser un libre développement à l'individualité de leurs auteurs, portent la signature de ces derniers, tandis que les feuilles de cartes sont publiées sous le patronnage collectif de la commission. On arrive ainsi à cette répartition équitable des responsabilités et des mérites, qui est le stimulant nécessaire et bienfaisant de tout grand travail scientifique.

Enfin nous rappelons une dernière fois encore que tous ces documents individuels et isolés sont destinés à être reliés par de grands travaux d'ensemble, dont le mémoire sur les formations quaternaires nous montre le type, et dont il nous fait désirer la prompte réalisation.

Et si maintenant l'on compare l'importance de ces résultats à la modestie des dépenses employées à les obtenir, on ne peut s'empêcher de ressentir une sympathique admiration pour tous ceux qui, à des titres divers, ont concourru à l'accomplissement de l'œuvre de la carte géologique de la Suède.

Entrepris sous l'empire de la préoccupation de faire concourrir à son avancement toutes les forces vitales du pays et avec l'ambition d'associer son développement à celui du mouvement intellectuel de la nation, exécuté au milieu de difficultés matérielles de tous genres, avec une conscience scrupuleuse, une activité infatigable et une bonne foi scientifique digne de tout éloge, ce beau travail a le mérite de réaliser le double programme qui a présidé à sa conception, et dès aujourd'hui il constitue à la fois un document d'une haute valeur scientifique et un guide précieux et sûr pour l'exploration et l'utilisation des richesses minérales et agricoles de la Suède.

Paris, le 10 mai 1872.

REMARQUES

SUR LES GISEMENTS MÉTALLIFÈRES DU CORNWALL.

Par WILLIAM JORY HENWOOD, F. R. S., F. G. S., Président du Royal Institution of Cornwall (*);

Traduction par M. E. MORINEAU, ancien élève de l'École des mines;

revue par M. MOISSENET, ingénieur des mines.

Terrains métallifères. — Les terrains métallifères du Cornwall sont : le granite, les schistes. probablement de plus d'une époque, associés par places à des roches amphiboliques, et le porphyre quartzifère, ou elvan, qui parfois se présente sous la forme de masses en apparence isolées, mais qui en général constitue de grands dykes (*courses*) coupant le granite et les schistes.

— *Granite.* — On connaît plusieurs massifs granitiques, dont quatre principaux. De légères différences de composition ne sont pas rares; mais, excepté dans certains districts, le feldspath, le quartz et le mica sont les éléments principaux; partout cependant la tourmaline est plus ou moins abondante.

Dans quelques localités, le feldspath et le mica sont de deux espèces, et dans certaines parties du comté, le mica est remplacé par le talc. Souvent, dans une pâte granitique

(*) Le mémoire original a été inséré au n° 13 du *Journal of the royal Institution of Cornwall*; les travaux antérieurs à ceux de l'auteur y sont l'objet de nombreuses citations, et l'auteur y signale l'important concours qui lui a été gracieusement offert par les agents des mines et les mineurs de tout le comté.

ordinaire, on voit de grands cristaux hémitropes de feldspath, et ceux-ci contiennent fréquemment mica et tourmaline ensemble. Des cavités microscopiques quelquefois vides, mais plus souvent remplies de matière liquide ou gazeuse, ont été découvertes dans les trois principaux éléments du granite du Cornwall.

Ce granite est généralement à gros grains; mais sous ce rapport il y a des différences considérables suivant les localités. Ainsi, tandis que dans les districts de Saint-Just et de Saint-Ives le granite a une texture beaucoup plus grossière que partout ailleurs, celui de Tregoning et de Godolphin a un grain généralement plus fin. De plus, le granite à gros grains est souvent traversé par des veines de même roche, mais de texture plus fine; quelquefois des boules isolées de schorl rock sont englobées par le granite.

Deux séries de joints se coupant sous un angle voisin, mais différent de l'angle droit, divisent le granite en blocs quadrangulaires. lesquels sont découpés par d'autres joints de directions intermédiaires; enfin, en divers points, une sorte de lit (*bedding*) à peu près parallèle à la surface des roches leur donne une apparence gneissique.

— *Schiste.* — Le schiste repose généralement sur le granite, et le contact fait avec l'horizon un angle de 20 à 45 degrés; dans quelques cas le contact est presque vertical, dans d'autres les roches forment à leur limite une véritable alternance. Toutefois, le granite prend fréquemment un grain très-fin sur la ligne de contact; d'autre part, le schiste est compacte et ne se distingue du granite que par sa couleur plus sombre.

Des veines de granite pénètrent fréquemment les schistes, et dans chacune de ces roches sont quelquefois englobées des masses de l'autre. Il y a ainsi un district qui est distant de tout massif granitique et qui présente en grand nombre de grossiers sphéroïdes de granite complétement isolés dans le schiste.

Il n'est nullement facile de décrire la composition minéralogique des schistes, puisque la proportion de leurs divers éléments est rarement constante pour une certaine étendue. Cependant on peut sans doute affirmer que le feldspath, la chlorite, le mica, la tourmaline et l'amphibole en sont les principaux éléments constituants. Près du granite, la plupart des schistes sont d'une couleur verte, brune pourpre ou violette; quand on s'éloigne du granite, on trouve des schistes gris bleus, bleus foncés, bruns jaunes, jaunes, et parmi eux, sur divers points du Cornwall, éloignés les uns des autres, on rencontre des schistes fossilifères.

Certains schistes sont cristallins et imparfaitement clivables; d'autres présentent une structure grossièrement lamelleuse; quelques-uns sont très-fissiles; dans tous, le quartz se trouve soit en veines proprement dites, soit dans les plans de clivage. Des masses amphiboliques et dioritiques sont intercalées dans les schistes; tantôt ce sont des amas isolés, tantôt de larges bandes se prolongeant en direction sur une grande étendue.

Les plans de clivage plongent presque toujours en s'éloignant du granite : les différents bancs de schistes enveloppant comme d'un manteau les flancs des collines granitiques; mais il est rare que les feuillets des schistes plongent aussi rapidement que la ligne de contact des deux terrains.

Les diverses variétés de schistes sont coupées par des joints qui conservent leurs directions respectives. Se rencontrent-ils sous des angles semblables à ceux formés par les joints qui traversent le granite? Il y a peut-être là matière à recherche ultérieure.

— *Elvan.* — L'elvan est en grande partie disposé en veines ou dykes (*courses*) qui parfois mesurent quelques pieds seulement, mais ont ordinairement une puissance de plusieurs toises. Parfois aussi, mais beaucoup moins fréquem-

ment, il se présente en masses isolées (*bunches*). Les dykes d'elvan traversent le granite aussi bien que les schistes, sans interruption, et dans un exemple bien connu, deux filons métalliques au moins sont coupés par un elvan.

Les dykes d'elvan concordent fréquemment, tant en direction qu'en plongement, avec une des séries de joints du terrain qu'ils traversent, mais ils sont rarement intercalés dans les plans de clivage des schistes. Des branches s'en détachent de temps en temps, mais elles sont moins fréquentes que dans le cas des filons métalliques. Dans les schistes, ils consistent généralement en feldspath compacte et en quartz mélangé parfois de tourmaline, et moins fréquemment de mica; ils renferment aussi des cristaux de feldspath blancs, jaunes, roses, couleur tourterelle, et des cristaux de quartz à double pyramide, dont quelques-uns paraissent avoir été usés par le frottement. Lorsqu'un elvan a pour terrain encaissant le granite, le feldspath et le quartz dominent encore, le mica et la tourmaline abondent, les cristaux empâtés sont encore nombreux, mais la pâte est ordinairement à grains plus fins que dans le cas des schistes.

Dans les deux terrains cependant, l'elvan est généralement à grains plus gros et d'un aspect plus porphyrique au milieu que sur les bords. Près de la surface, particulièrement dans les schistes, des enveloppes concentriques de matières ferrugineuses entourent des masses de roches en tout semblables à l'elvan ordinaire qui l'environne; c'est une structure partiellement orbiculaire.

Des joints innombrables traversent l'elvan dans toutes les directions et le divisent en petits blocs de forme irrégulière. Dans quelques localités, ces joints ont leurs faces couvertes de tourmaline; dans d'autres, de matières ferrugineuses; fréquemment enfin, d'argile feldspathique. Les parties quartzeuses de l'elvan renferment des cavités microscopiques assez semblables (quoiqu'elles en diffèrent

à certains égards) à celles trouvées dans le quartz du granite. Là aussi les cavités sont vides quelquefois, mais contiennent par place des matières liquides ou gazeuses.

Dans tous les districts miniers, les elvans sont généralement orientés à quelques degrés au nord de l'est; mais dans d'autres parties du Cornwall, on en connaît dont la direction est voisine du méridien. Leur plongement, que l'on peut estimer être de 40 à 60 degrés sous l'horizon, est moindre que celui des filons qui les coupent, mais supérieur à l'inclinaison des plans de clivage des schistes traversés.

— *Serpentine.* — La serpentine est traversée par des veines qui, par place, contiennent du cuivre natif, mais rarement en quantité suffisante pour mériter à cette roche une place parmi les terrains métallifères.

— *Minerais d'étain et de cuivre dans les roches.* — Le minerai d'étain se rencontre en petits grains disséminés dans le granite et dans l'elvan, et en veinules courtes et minces coupant l'une et l'autre de ces roches (*). Dans les schistes, la dissémination est moindre; le minerai d'étain est concentré sous la forme de veinules également fort petites.

Le cuivre natif et plusieurs minéraux du cuivre imprègnent le granite, l'elvan et tous les schistes, à très-peu près comme le fait l'étain, mais dans des cas plus rares. Ni les particules qui sont dispersées dans les roches, ni les petites veinules qui les coupent, ne paraissent avoir eu jusqu'ici d'importance économique.

Filons. — Dans le Cornwall, les principaux gîtes métallifères sont les *filons.* Ils sont formés en grande partie de quartz, et renferment toujours plus ou moins de feldspath. S'étendant sans obstacle ni interruption à travers chaque

---

(*) L'or, comme le minerai d'étain, est disséminé dans le granite de diverses contrées.

terrain de la série métallifère, ils participent dans leurs parcours du caractère minéralogique de chacun des terrains. Quoique les travaux de mines soient souvent ouverts dans des exploitations voisines, sur des distances considérables en suivant des filons de directions correspondantes, on ne saurait cependant assurer qu'un filon unique a été réellement tracé sur une longueur de plus d'un mille.

—*Branches.*—En fait, chaque filon jette pour ainsi dire, dans les roches encaissantes, des branches et des filets en telle abondance, qu'au lieu d'un seul filon principal, celui-ci et ses congénères forment plutôt un réseau complexe et irrégulier de veines. Souvent aussi, le filon découvert en premier lieu se réduit à un simple fil, tandis que quelques-unes de ses branches s'élargissent, égalent et souvent dépassent, tant en puissance qu'en richesse, les veines dont elles ont été séparées.

C'est surtout en suivant les filons dans la direction de l'est qu'on les voit se diviser.

— *Intersections.* — Assez ordinairement, les filons se divisent à leur intersection par une veine croisante ; d'un côté de cette veine, le filon coupé montre plusieurs branches ; de l'autre, ces branches semblent être réunies. Les filons et les branches qui traversent les terrains, quoique n'étant pas exactement parallèles, peuvent, sur une grande échelle et d'une manière générale, être regardés comme coïncidant en direction ; mais ils plongent sous des angles différents, quelquefois en sens contraire, et souvent aussi ils se coupent.

Ces intersections ne sont pas particulières à une espèce de terrain, ni à des veines produisant seulement une espèce de minerai ; quelques-unes en effet se présentent dans le granite, d'autres dans les schistes ; quant aux filons, plusieurs tiennent du minerai d'étain seulement, beaucoup d'autres du minerai de cuivre seul, quelques-uns des minerais de ces deux métaux.

Les résultats de ces intersections sont aussi variables que les conditions dans lesquelles elles se produisent; quelquefois les veines se réunissent et continuent ensemble sur des distances considérables, pour se séparer à la fin; fréquemment l'une des veines est rejetée horizontalement (*heaved*) ou verticalement (*thrown*) ; de temps en temps, toutes deux paraissent être en désordre et avoir perdu leur caractère distinctif près de leur point d'intersection.

—*Puissance.*—Règle générale, les filons qui contiennent en mélange les minerais de cuivre et d'étain sont plus puissants que ceux qui ne renferment qu'un seul de ces minerais. En outre, les filons conservent une puissance moyenne plus grande dans les schistes que dans le granite, et jusqu'à 100 toises de profondeur plutôt qu'au-dessous.

Les filons de cuivre et étain ont en moyenne. 1^{m},40 de puissance
— d'étain. . . . . 0 ,91
— de cuivre. . . . . 0 ,83

Les filons ont en moyenne :

— dans le granite. . . . . 0^{m},94
— dans les schistes. . . . . 1 ,09
— à moins de 100 toises (183 mètres) de profondeur. . . . . 1 ,14
— à plus de 100 toises (183 mètres) de profondeur. . . . . 0 ,90

En passant d'un terrain dans un autre, de la richesse à la pauvreté, la puissance des filons change fréquemment. Toutefois, dans les circonstances ordinaires, chaque filon en particulier conserve habituellement une puissance caractéristique.

— *Directions.* — Les directions des filons dans les différents districts de mine ne sont pas parfaitement identiques; dans un même district, les filons d'un même groupe présentent en regard les uns des autres des parties quelque

peu différemment infléchies ; ils ne sont donc pas strictement parallèles. En fait, les districts du centre du Cornwall sont traversés par deux systèmes pour ainsi dire : les filons principaux (*Champion-lodes*) et les filons diagonaux (*Caunter-lodes*). Chacun d'eux possède une direction qui lui est propre.

Dans l'ouest du comté, les filons montrent un certain degré de divergence. Quoi qu'il en soit, on compterait à peine sur le cadran de la boussole un point qui ne donnât la direction d'un ou plusieurs filons ; ajoutons que si les filons atteignent dans plusieurs régions une sorte de parallélisme, la direction moyenne des filons prise pour chaque district varie beaucoup d'un district à un autre.

Voici en effet les directions moyennes des filons pour les différentes parties du Cornwall :

Saint-Just.	E. 35° S.	ou	O. 35° N.
Saint Ives.	E. 8 S.	»	O. 8 N.
Marazion.	E. 1 N.	»	O. 1 S.
Gwinear et environs.	E. 2 S.	»	O. 2 N.
Helston.	E. 16 N.	»	O. 16 S.
Camborne et environs. . . .	E. 20 N.	»	O. 20 S.
Redruth et environs.	E. 22 N.	»	O. 22 S.
Saint-Agnes.	E. 22 N.	»	O. 22 S.
Saint-Austell.	E. 13 N.	»	O. 13 S.
Caradon.	E. 18 N.	»	O. 18 S.
Tavistock et environs. . . .	E. 9 N.	»	O. 9 S.

La moyenne générale pour tout le comté est à peu près E. 5° N.-O. 5° S., direction qui ne diffère pas sensiblement de l'alignement des massifs granitiques qui apparaissent entre le Dartmoor et le Land's End, et qui serait à peu près celle d'une ligne médiane du Cornwall.

—*Plongement.*—Les filons présentent autant d'inflexions dans leur inclinaison que dans leur direction ; leur plongement, quelquefois inférieur à 45 degrés, va jusqu'à la verticalité et peut être en moyenne de 70 degrés avec l'hori-

zon. On connaît quelques rares exemples de filons offrant en divers points de leurs parcours des plongements de sens opposés.

Obéissant sans aucun doute à une loi encore inconnue, les veines (filons ou croiseurs) plongent plus fréquemment vers le granite qu'ils ne s'en éloignent, et aussi bien aux États-Unis que dans cette contrée, les veines qui conservent une direction presque méridienne sont, prises dans leur ensemble et quel que soit leur caractère minéralogique, plus voisines de la verticalité que celles dont la direction est transverse.

— *Filons dans des terrains différents.* — Les filons qui coupent des terrains différents obliquement à leur ligne de contact, sont légèrement déviés et parfois passent entre les deux terrains sur une petite distance, mais ils ne sont pas interrompus, et ils reprennent bientôt leurs directions normales.

En général, les lignes de jonction des différentes roches encaissantes occupent des positions correspondantes sur les épontes des filons, mais ce n'est pas toujours le cas; les mêmes roches dont se trouvent formées en regard l'une de l'autre les parois de divers filons sur un notable parcours horizontal ou vertical, occupent en effet des positions très-différentes, soit qu'elles constituent le parement nord ou le parement sud, le toit ou le mur, pour les mêmes filons dans d'autres parties de leur course. En outre, pour beaucoup de filons, des parties d'une même roche occupent des positions différentes sur les parements opposés, tandis qu'un grand nombre de délits et de veines d'un caractère dissemblable apparaissent d'un côté seulement, mais ne sont pas connus de l'autre.

— *Structure, composition.*—Tant par leur structure que par leur composition, les filons sont en relation intime avec les terrains immédiatement voisins. Leur structure, comme celle des terrains voisins, semble dans une certaine mesure

dépendre de leur caractère minéralogique. Dans les points où leur composition est la plus uniforme, ils sont surtout formés de quartz, et alors, comme pour les schistes homogènes, une structure avec joints prévaut fréquemment, mais lorsque les filons contiennent un mélange hétérogène ainsi qu'il arrive pour la plus grande partie du gîte, ce caractère devient moins commun.

— *Joints parallèles.* — Les parties quartzeuses sont souvent traversées par des joints ayant à peu près la même direction que les filons eux-mêmes, et qui les divisent ainsi en veines subordonnées, feuillets ou *combs*. Toutefois ces joints ne continuent pas longtemps distincts et séparés, mais de même que les joints des terrains, ils s'infléchissent, s'unissent, se séparent et se confondent de nouveau, divisant ainsi les matières du filon en feuillets irréguliers, ou plutôt en une série de lentilles à bords très-amincis.

Lorsque les filons coïncident en direction avec les joints des terrains, ils paraissent être limités par des épontes polies (*smooth*); mais lorsque les joints disparaissent, ce qui a lieu dans bien des cas, sinon dans la plupart, il y a un passage graduel entre les matières de filon et le terrain encaissant (*country*); on dit alors que les épontes sont rugueuses (*rough*).

— *Joints transversaux.* — Non-seulement les filons présentent dans leur structure des exemples de joints marchant parallèlement au gîte, mais fréquemment aussi, ils sont recoupés par des joints transversaux, et cette disposition en lames épaisses, ou en lits horizontaux, n'est pas rare.

— *Joints argileux.* — Près du contact des filons et du terrain encaissant les joints sont fréquemment remplis d'une argile onctueuse (*flucan*), et ceux-ci comme les miroirs (*slickensides*) de cuivre pyriteux, de pyrite de fer, de galène et autres minerais, sont souvent couverts de stries courbes, en zigzag, discordantes, lesquelles, dans une zone

restreinte, non-seulement plongent différemment et souvent en sens inverse, mais fréquemment s'enchevêtrent tout en coupant les matières du filon.

— *Filons bréchiformes.* — Beaucoup de filons ont par places une apparence bréchiforme, due à ce qu'ils englobent des matières de caractère identique à celui des terrains encaissants. Ce fait n'est pas rare dans le granite et l'elvan, mais il est plus remarquable dans les schistes et surtout dans les schistes fossilifères de l'Est-Cornwall.

Dans quelques cas, ces matières englobées affectent la forme d'une veine peu étendue; dans d'autres, elles se présentent en masses anguleuses; elles sont parfois à bords tranchants, tandis qu'elles semblent souvent se relier par suite d'une transition imperceptible aux éléments qui les environnent. Çà et là, elles sont enveloppées par des dépôts successifs de quartz, chacun d'eux se distinguant par une particularité de structure ou de teinte; entre elles on rencontre de temps en temps de petites cavités remplies de petites concrétions agatiformes, parsemées de divers cristaux.

Lorsqu'elles sont composées de matières schisteuses, leur clivage souvent, mais pas toujours, coïncide avec celui des terrains voisins; mais lorsqu'elles sont formées de granite ou d'elvan, leur ressemblance avec les autres matières du filon est tellement étroite qu'on ne peut plus déterminer aussi bien leurs relations.

— *Horses.*— Ces substances, de caractère identique à celui des terrains avoisinants, ont donc des formes et des volumes variables depuis la particule microscopique jusqu'aux masses dites *horses*, qui appartiennent sans doute au même ordre de phénomènes. Ces masses commençant comme un simple fil, atteignent une puissance de plusieurs pieds, ou même de plusieurs toises, se prolongeant souvent horizontalement et en profondeur, en sorte qu'elles semblent plutôt avoir divisé le filon qu'avoir été englobées par

lui. De plus, lorsqu'un semblable phénomène a lieu à la jonction de roches différentes, les surfaces de contact de ces roches dans la partie englobée (*horse*) font exactement vis-à-vis à leurs contre-parties dans les parois des branches des filons englobants.

— *Masses sphéroïdales.* — Dans presque toutes les parties du Cornwall, les filons renferment, par places, des masses grossièrement sphéroïdales ou globulaires de granite, de schistes, d'elvan, de quartz, de galène, de pyrite de cuivre et de minerai d'étain, qui sont fréquemment enveloppées de concrétions successives de la même substance, ou de substances différentes. De plus, dans des masses de composition uniforme, une des extrémités est quelquefois à structure schisteuse, tandis que l'autre est formée d'une série de calottes hémisphéroïdales. Dans beaucoup de cas cependant, il semble que les masses sphéroïdales, dans leur forme actuelle, ne résultent pas d'une suite de dépôts concentriques.

— *Géodes.* — Sur un point ou sur un autre, chaque filon présente des géodes de dimensions plus ou moins grandes; outre ces cavités, les quartz de certaines veines en contiennent d'autres microscopiques, dont le nombre dépasse un milliard par pouce cube.

— *Gangues des filons; affleurements ferrugineux.* — Dans leur composition, les filons participent toujours de la nature du terrain encaissant. C'est ainsi que dans le granite et dans l'elvan, le feldspath constitue la gangue principale; le quartz aussi y est abondant, mais il ne domine que dans les schistes. Entre les filons et les terrains qu'ils traversent, existe souvent un passage si gradué, une liaison si intime, que l'on ne saurait tracer d'une manière absolue une ligne de démarcation. Dans les filons qui recoupent les schistes fossilifères de l'Est-Cornwall, de grandes zones sont formées d'un quartz cristallin blanc, abondant en cavités géodiques tapissées de cristaux. Beaucoup de filons,

la plupart d'entre eux peut-être, montrent aux affleurements une abondance de fer oxydé hydraté d'une couleur jaune pâle, rouge brique ou brun foncé, mêlé de quartz d'un aspect plus ou moins grenu : ces matières sont le chapeau de fer ou *gossan*. Il n'est pas rare d'y trouver de l'étain oxydé disséminé, quel que soit le principal minerai produit par le filon au-dessous des affleurements. Les cristaux sont beaucoup plus nombreux près de la surface qu'à de grandes profondeurs, mais on les trouve rarement dans les riches et puissants amas de minerai (*).

— *Filons d'étain dans le granite.* — Lorsque les filons d'étain traversent le granite, la gangue la plus favorable à la richesse du gîte est le feldspath vert pâle ou brun rouge, à cristallisation confuse avec peu de cristaux distincts, mêlé à du quartz et à de la tourmaline. Quelquefois cependant le quartz et la tourmaline abondent, et, de temps en temps, le quartz domine. Le minerai d'étain se présente généralement en grains cristallins qui rarement excèdent la dimension d'un pois, et sont ordinairement d'un diamètre presque microscopique; en d'autres points de petites et courtes veinules de cassitérite et de tourmaline traversent les autres éléments.

— *Filon d'étain dans les schistes.* — Les filons d'étain dans les schistes sont surtout composés d'un schiste quartzeux (*capel*), de chlorite, de quartz et tourmaline en minces bandes alternées, le tout fréquemment mêlé de quartz, et souvent très-contourné ; le minerai d'étain est disséminé dans ces matières encore plus finement que dans les gangues formées par les minéraux du granite.

— *Filon de cuivre dans le granite.* — Les filons de cuivre dans le granite contiennent presque toujours du gossan

(*) M. Becquerel a remarqué qu'en produisant la cristallisation de chlorures doubles sous l'action d'un seul élément de pile, les cristaux formés tout d'abord étaient parfaits, tandis que les angles des cristaux qui se déposaient ensuite étaient tronqués.

aux affleurements et quelquefois à des profondeurs considérables. Les quartz qu'ils renferment ne sont pas, comme dans les schistes, à grains très-fins (*sugary*), mais ils se divisent aussi en petites masses irrégulières qui s'émiettent sous la moindre pression. Les innombrables cavités que présente cette matière peu cohérente contiennent de l'hématite brune, de l'argile feldspathique, du cuivre oxydé noir et de la malachite ; à de plus grandes profondeurs, le spath-fluor est une gangue fréquente ; au-dessous du cuivre oxydé noir, on rencontre souvent le cuivre sulfuré, puis le cuivre pyriteux.

Un des principaux districts a été anciennement travaillé pour le minerai d'étain que les filons produisaient près de la surface ; mais en profondeur, l'étain fut graduellement remplacé par le cuivre, au point que ce district devint un des centres cuprifères les plus étendus et les plus riches du Cornwall. Toutefois, à une profondeur plus grande encore, le minerai d'étain reparaît, et depuis un certain temps il a été presque le seul produit de cette région.

—*Filons de cuivre dans les schistes.*—Les filons de cuivre dans les schistes contiennent de grandes quantités de fer oxydé hydraté tendre, caverneux, jaune ou brun pâle, de la blende, parfois assez abondante, du minerai d'étain fréquent, mais en petite proportion, et des masses de galène par place ; souvent la pyrite de fer abonde. Les gangues terreuses et pierreuses sont principalement le quartz (souvent friable dans les parties utiles du gîte), mêlé quelquefois à de l'argile feldspathique (*prian*), moins fréquemment à de la chlorite, et de temps en temps à de la fluorine. Près de la surface, ces gangues sont généralement imprégnées de pyrite de fer, de cuivre oxydé noir et de malachite auxquels succède le cuivre sulfuré, et à la fin tous ces minéraux sont remplacés par le cuivre pyriteux.

— *Minerais de cuivre et d'étain mélangés.*— Quoique les minerais d'étain et de cuivre soient ordinairement localisés

dans des filons distincts et même dans des roches différentes, on les trouve intimement mêlés dans quelques-unes des mines les plus grandes et les plus productives.

— *Minerai de plomb.* — Les minerais de plomb se rencontrent généralement à une certaine distance du granite, et sont limités à des groupes de filons qui traversent des terrains schisteux, lesquels sont quelquefois fossilifères (*).

— *Rareté des remplissages symétriques, passage des parties riches aux parties pauvres.*—Les éléments constituants des filons y sont rarement disposés avec symétrie ; cependant une matière (*the leader*, le conducteur ou veine caractéristique du filon) ou un mélange de matières, se maintient quelquefois avec une certaine continuité sur une longueur et une profondeur considérables ; mais, au moins aussi fréquemment, les diverses matières sont irrégulièrement mélangées. Il a été établi que les parties compactes des filons sont en général siliceuses, et quelquefois entièrement formées de quartz ; de temps en temps néanmoins, la masse tout entière est métallique. Le passage des parties pauvres aux parties riches est rarement brusque; car, sur le pourtour d'un riche massif de minerai, les gangues sont imprégnées de mouches plus ou moins grosses, et traversées de minces et courtes veinules.

— *Rendement en étain et en cuivre.* — En comparant les quantités d'étain et de cuivre métalliques obtenues par les fondeurs avec les poids des minerais bruts extraits par les mineurs, on a déduit les rendements à diverses dates.

(*) Il y a quarante ans environ, une *encrine* a été trouvée par feu M. W. Mansel Tweedy (qui fut Président du *Royal Institution of Cornwall*), dans un schiste voisin du filon de Goonhavern, district de Perranzabuloe.

DATES.	RENDEMENT EN MÉTAL POUR 1 PARTIE de minerai sortant.	
	Étain.	Cuivre.
1778	0,020381	0,020000
1862	0,013000 (*)	0,021250 (**)

(*) Le minerai d'étain du Cornwall rend en moyenne (13 parties sur 20) 0,650000 de son poids de métal.
(**) Le rendement moyen en métal des minerais de cuivre du Cornwall est de 6 1/8, soit 0,061250 de leur poids. (HUNT, *Mining statistics*, 1857-1867.)

En 1869, les minerais de la mine d'étain la plus productive rendaient 0,013000 de leur poids de métal (*).

— *Parties productives.* — C'est un fait remarquable dans tous les filons, quelle que soit la nature de leur minerai, que les parties dont l'inclinaison s'approche le plus de la verticale sont toujours les plus productives. Ces parties productives (*courses*, bandes, zones ou colonnes métallifères), pour les minerais de cuivre comme pour les minerais d'étain, ont dans leurs filons respectifs un plongement dans

(*) Sur la rive sud du lac supérieur, les minerais sortants rendent :

A la mine de North-West. 0,013000
A la mine de Cliff. 0,163000

de leur poids de cuivre natif.

A Chañarcillo, au Chili, les minerais de la mine *Colorada*, de 1855 à 1856, rendaient de 0,012964 à 0,012966 de leur poids d'argent (HENWOOD, *Cornwall Geol. Trans.*, t. VIII, p. 97).

Dans le nord du pays de Galles, les minerais de Clogau rendaient de 0,000002 à 0,045765, et en moyenne 0,000043 de leur poids d'or (HENWOOD, *Cornwall Geol. Trans.*, t. VIII, p. 641, *tableau* XXII).

A Berezovsk, dans l'Oural, les matières travaillées de 1745 à 1841 rendirent en moyenne 0,000013 de leur poids d'or.

Voici encore le rendement en or de divers filons aurifères :

Dans la Nouvelle-Écosse. . . . . de 0,000025 à 0,000032
En Virginie. de 0,000005 à 0,035659
Au Brésil, filon Catta Branca. . . . . de 0,000007 à 0,000019
— — Morro-Velho. . . . . de 0,000010 à 0,000036
— — Agoa-Quente. . . . . de 0,000001 à 0,016988
— — Don-Pedro. . . . . de 0,000003 à 0,002364
— — Gongo-Soco. . . . . de 0,000001 à 0,521173

le sens de la longueur (*shoot*, coulée), qui ordinairement s'écarte peu des contours et délits du granite voisin et de l'inclinaison des plans de clivage des schistes adjacents.

Dans chacun de nos nombreux districts miniers, les filons sont productifs suivant des lignes semblables menées perpendiculairement à leur direction respective; d'où le dicton: « *ore against ore*, » minerai en face du minerai. Mais comme les directions des filons varient dans les divers districts, les directions de ces lignes productives ne sont pas toujours les mêmes.

Les filons et leurs branches sont souvent riches à leur jonction, surtout s'ils se rencontrent (soit horizontalement, soit verticalement) sous un angle aigu.

Lorsque les joints du terrain s'unissent aux filons dans le sens de leur plongement, ceux-ci sont quelquefois productifs. Lorsque des veines et des joints se détachent du filon, c'est au contraire un signe d'appauvrissement.

En rencontrant des terrains d'une dureté plus qu'ordinaire, les filons dont les matières sont tendres et grenues se divisent en branches; ou bien, il serait aussi exact de dire que l'ensemble, filon et terrain encaissant, affecte sur une certaine longueur une structure veinée.

D'autre part, on observe parfois un phénomène semblable à la traversée par les filons de terrains exceptionnellement tendres. On peut dire cependant que les terrains quelque peu durs conviennent généralement mieux aux filons d'étain qu'aux filons de cuivre (*).

Tant pour le granite que pour l'elvan, une structure porphyroïde nettement définie est un des caractères les plus défavorables; lorsqu'au contraire les cristaux sont entièrement soudés à la pâte, ce fait est pour les deux terrains considéré comme une circonstance encourageante.

(*) Les parties dures sont beaucoup plus riches que les parties tendres dans le grand gisement aurifère de Morro-Velho, au Brésil.

Les joints transversaux paraissent exercer une influence défavorable sur la richesse des filons; parfois une bande de minerai (*course*) se termine brusquement à un joint.

Les plans de clivage des schistes sont presque invariablement contournés, quand le terrain est quartzeux; en pareil cas, le schiste est ordinairement fissile, et les feuillets sont fortement redressés; chacune de ces circonstances est jugée nuisible. D'un autre côté, lorsque les plans de clivage sont exempts de toute courbure et modérément inclinés, et que la roche se divise en lames épaisses, les filons contenus offrent de belles perspectives. Les schistes fissiles sont souvent durs, tandis que ceux à feuillets épais sont ordinairement beaucoup plus tendres.

— **Amas.** — Depuis plusieurs années, le minerai d'étain produit par deux mines voisines et d'une grande importance a été principalement extrait de gîtes en amas, jusqu'ici sans exemple dans le reste du Cornwall. Tous ces amas sont reliés à des filons, et ceux-ci, dans les deux plus remarquables exemples, sont dirigés E. 17° à 25° S.; l'un est presque vertical, l'autre a un plongement général vers le sud. Au contact des filons avec lesquels ces amas sont respectivement liés, l'un d'eux ne mesure que quelques pouces en hauteur et en largeur, mais l'autre s'étend d'environ 15 toises dans le sens vertical et a environ 5 pieds d'épaisseur. En s'éloignant du contact, l'un des amas marche E. 35° S., l'autre environ E. 25° S.; malgré leurs inflexions, l'un conserve cependant un certain parallélisme avec un croiseur (*cross-vein, trawn*) qu'il touche parfois et qu'il enrichit, tandis que l'autre prend la direction d'un filon qu'il rase de temps en temps; ce filon est parfois productif quoique sa direction diffère peu de celles des croiseurs voisins. Mesurées en différents points des distances considérables sur lesquels ils ont tous deux été explorés, leurs dimensions varient depuis quelques pouces jusqu'à

60 pieds au moins, tant en hauteur qu'en puissance. Ces gîtes sont donc dépourvus de ce caractère si essentiel de tous les filons, la suite en profondeur, et ressemblent bien plutôt aux *pipe-veins* des districts carbonifères en ce qu'ils sont limités au-dessus, au-dessous et sur les deux côtés, par des terrains stériles (*country*).

Ces deux amas inclinent vers le sud-est, l'un d'environ 10, l'autre d'à peu près 8 degrés. Leurs principales gangues pierreuses sont le quartz, la tourmaline et le feldspath. Les deux premiers minéraux y sont en plus grande proportion, le troisième en proportion moindre que dans les matières des filons d'étain voisins.

Les noyaux, filets, masses lenticulaires et autres branches détachées de tous les côtés de ces deux amas, constituent avec un réseau de nombreuses veinules dans le terrain encaissant. une source additionnelle et importante de production. Entre les matières de ces amas et le granite encaissant, il y a quelquefois passage graduel, mais souvent absence complète de transition, changement tranché et immédiat. Les matières métalliques y sont distribuées d'une manière moins uniforme, sans doute, que dans les filons voisins, mais tous deux ont offert des parties exceptionnellement riches.

Des masses analogues, quoique plus petites, se détachent des filons dans certaines mines du voisinage, mais deux seulement d'entre elles (appelées dans la localité *carbonas*) (*) ont été travaillées avec profit, et leur production, durant les quarante dernières années, a dépassé une valeur d'un million et demi de livres sterling, soit 37.500.000 francs.

(*) Cette expression, inconnue dans tout autre partie du comté, a été appliquée, il y a environ soixante ans, à une formation semblable exploitée dans la mine voisine, Rosewall Hill L'opinion qui prévaut veut que ce mot ait appartenu au patois alors usité dans le voisinage. Nous n'en avons aucune preuve certaine, mais il n'est pas douteux que cette expression a été employée pour la première fois par des personnes non familiarisées avec l'ancien langage du Cornwall.

On rencontre parfois isolées, dans le granite de la même région, des masses de matières formées de feldspath, de tourmaline et de quartz plus ou moins imprégnées de minerai d'étain.

— **Croiseurs et Failles.** — (*Cross-veins*). — Un genre de veines, nombreux et important, quoique généralement improductif, est connu sous le nom de *Guides* dans un district, de *Trawns* dans un autre, et ailleurs encore, selon que le quartz ou l'argile forment leurs principaux éléments, sous les dénominations de *Cross-courses* ou de *Flucans*. De temps en temps, quelqu'un d'entre eux est coupé par une veine métallifère; mais généralement ils se frayent un chemin à travers terrains (*) et filons sans interruption.

— *Directions moyennes*. — Les directions moyennes de ces veines croisantes (*cross-veins*), dans les différents districts sont les suivantes :

Saint-Just	E. 26° N.	Redruth, etc.	E. 35° S.
Saint-Ives	E. 38° S.	Saint-Agnes	S. 39° E.
Marazion	E. 41° S.	Saint-Austell	E. 21° S.
Gwinear, etc.	S. 43° E.	Menheniot, etc.	E. 3° N.
Helston	E. 21° S.	Caradon	S. 13° E.
Camborne, etc.	S. 34° E.	Callington	E. 43° S.

La moyenne générale pour le comté est à peu près S.-E.—N.-O., et ne diffère pas sensiblement d'une des séries de joints les plus nettement développés dans les terrains.

— *Plongement*. — L'inclinaison moyenne de ceux des croiseurs qui conservent la direction générale est de 80 degrés environ; tandis que, pour ceux dont la direction se

(*) Sir H. T. de la Beche, *Report*, p. 297, 298, décrit et figure un déplacement du granite par le *grand cross course* près de *Treskerby*; mais ni la carte géologique (*Ordnance geological map*), coloriée par lui à la même époque, ni le *Geological map of the mining district* de M. Thomas, publié dix-sept ans plus tôt, n'indiquent rien de semblable.

rapproche de l'est-ouest, l'inclinaison dépasse rarement 60 degrés. En outre, quelle que soit la relation qui (s'il y en a une) peut exister entre leur direction et la roideur de leur plongement, ces veines s'enfoncent vers le granite plus fréquemment qu'elles ne s'en éloignent.

— *Puissance.* — Ces veines sont plus puissantes dans le granite que dans les schistes, et à de grandes profondeurs que près de la surface. Leur puissance moyenne, dans le granite, est de 1m,44; dans les schistes, 1m,04; à moins de 100 toises, 1m,22; à plus de 100 toises 1m,32.

— *Structure.* — Les croiseurs affectant la structure des roches encaissantes et participant de leur nature, deviennent plus quartzeux lorsqu'ils traversent les schistes où abondent les filets de quartz (*country branches*) que partout ailleurs. En pareils cas, ils sont fréquemment coupés par des joints ondulés qui, concordant approximativement en direction aussi bien avec eux qu'avec de semblables divisions dans les strates, les partagent en veines subordonnées d'épaisseur variable.

Les faces de ces joints, de même que les faces de joints dans les filons, sont souvent couvertes de stries discordantes. De plus, les croiseurs se divisent fréquemment en branches aussi bien verticalement qu'horizontalement, et celles-ci quelquefois se terminent en filets dans le terrain, mais souvent se réunissent; parfois aussi les croiseurs ne se manifestent qu'à de certaines profondeurs et disparaissent ensuite après un faible parcours tant vertical qu'horizontal.

Les croiseurs participent de la nature de chaque terrain et même de chaque veine qu'ils traversent. Ainsi, dans le granite, malgré la présence du quartz par place, leurs principaux éléments sont granitiques, et lorsque ces matières sont à grandes parties et porphyriques, les cristaux de feldspath affectent souvent une sorte d'orientation. Dans un schiste homogène, au contraire, ils sont assez ordinairement formés d'une argile schisteuse, et sont alors

appelés *Flucans*. Dans cet état, les croiseurs, même quand ils sont très-tendres, ont fréquemment la structure du terrain encaissant; ils sont avec lui, soit fissiles, soit à épais feuillets et les plans de clivage plongent sous les mêmes angles dans le croiseur et dans les schistes; le tout est parfois plus ou moins siliceux, et, dans ces conditions, de petites masses sphéroïdales composées de feuillets alternatifs de quartz et de schistes, se trouvent, à de rares intervalles, englobées dans le croiseur.

En outre, des parties considérables de beaucoup de croiseurs sont formées de quartz, quelquefois compacte, mais assez fréquemment cristallisé en prismes irréguliers disposés horizontalement et normalement aux parois et aux joints. Au voisinage des croiseurs, le terrain est souvent découpé en tranches minces par de petits filets de quartz.

De l'argent et du cuivre métalliques, ainsi que de nombreux minerais de ces métaux et de plusieurs autres encore, se rencontrent en petite quantité dans les croiseurs; ces substances métallifères y sont, pour la plupart, limitées aux régions voisines des rejets que ces croiseurs produisent sur des filons dans lesquels des métaux et des minerais semblables dominent. Cependant beaucoup de nos plus riches gisements de minerais de plomb ont les mêmes directions et les mêmes caractères minéralogiques que les principaux croiseurs.

Les terrains et les filons sont coupés par les croiseurs dont les parties quartzeuses forment presque les seuls chenaux naturels non interrompus pour la circulation souterraine des eaux; tandis que les parties uniquement argileuses (*flucans*) sont, au contraire, si complétement imperméables, qu'elles sont souvent choisies comme les limites des concessions de mine (*setts*).

— *Slides*. — Une variété de croiseurs, dits *slides*, n'a été observée, jusqu'ici, que dans les terrains schisteux de certains districts. Leur direction se rapproche de celle des

filons, sans lui être exactement parallèle; elle ne dépasse pas, en moyenne, l'est 20° nord. Ils ont différentes inclinaisons. Comme puissance, ils ont depuis 0m,025 jusqu'à 0m,305; ils ne contiennent que de l'argile schisteuse.

— *Rejets.* — S'il importe au mineur praticien de bien posséder les différents changements de caractère qui accompagnent le passage de son filon d'une partie pauvre à une partie riche, il ne lui est guère moins utile de savoir, lorsqu'une veine en a disloqué une autre, si la recherche de la veine coupée offre les plus grandes chances de succès, en marchant à main droite ou à main gauche (*), dans le cas d'un déplacement horizontal (*heave*); en hauteur ou en profondeur, dans le cas d'un déplacement vertical (*leap* ou *throw*); ou, dans les deux cas, si la probabilité est pour l'angle obtus ou l'angle aigu.

L'observation a porté sur 272 filons et leurs intersections par des croiseurs dans différentes parties du Cornwall.

NOMBRE des filons.	PHÉNOMÈNES A L'INTERSECTION.	PROPORTION sur le total observé.
57	Coupés, mais non rejetés	0,20
135	Rejetés à main droite	0,50
80	Rejetés à main gauche	0,30
181	Rejetés du côté de l'angle obtus	0,67
34	Rejetés du côté de l'angle aigu	0,13

Étendue moyenne du rejet selon le sens.

	mètres.
Main droite	5,36
Main gauche	3,84
Côté de l'angle obtus	4,80
Côté de l'angle aigu	4,88
Étendue moyenne générale pour le comté	4,80

(*) « Le sens du rejet est généralement exprimé par les mots *droite* et *gauche*, parce que la même expression s'applique, quel que soit le côté par où s'approche l'observateur; si l'on voulait employer les termes *nord* et *sud*, il faudrait aussi dire si l'on vient par l'ouest ou par l'est. »

(THOMAS (R.), *Report*, p. 22. CARNE. *Cornwall*, *Geol. Trans.*, t. II, p. 86.)

Il est important aussi de rechercher si le sens et l'étendue du rejet dépendent de la nature des terrains encaissants, de la composition, de la puissance ou de l'inclinaison du filon et du croiseur, ou bien de leur angle d'incidence.

Les chiffres suivants résument les observations des intersections suivies ou non de rejet, le sens des rejets et leur étendue moyenne, selon que le terrain encaissant est le granite ou le schiste.

PHÉNOMÈNES OBSERVÉS.	PROPORTION sur le total des observations.	
	Granite.	Schiste.
Intersections sans rejet	0,26	0,21
Rejets à main droite	0,52	0,51
Rejets à main gauche	0,22	0,28
Rejets vers l'angle obtus	0,66	0,64
Rejets vers l'angle aigu	0,08	0,15
Étendue moyenne des rejets	5^m,21	4^m,95

Voici les résultats analogues obtenus en tenant compte de la nature du minerai, étain ou cuivre, contenu par les filons coupés :

NATURE des minerais contenus dans les filons.	Filons coupés, mais non rejetés.	FILONS REJETÉS				Étendue moyenne des rejets.
		à main droite.	à main gauche.	vers l'angle obtus.	vers l'angle aigu.	mètres.
Étain	0,18	0,[illegible]6	0,26	0,52	0,30	4,67
Etain et cuivre	0,37	0,44	0,19	0,56	0,07	4,42
Cuivre	0,18	0,52	0,30	0,74	0,08	5,31

Les intersections des filons par des croiseurs (*cross-veins*) de caractère minéralogique différent, quartzeux ou argileux, donnent les résultats suivants :

NATURE DES CROISEURS.		Filons coupés, mais non rejetés.	FILONS REJETÉS			
Matière.	Désignation.		à main droite.	à main gauche.	vers l'angle obtus.	vers l'angle aigu.
Quartz.	Cross-Courses. . . .	0,29	0,44	0,27	0,59	0,12
Argile schisteuse. .	Flucans.	0,18	0,55	0,27	0,70	0,12

Voici quelle est l'étendue moyenne du rejet selon la nature du croiseur :

NATURE DES CROISEURS.		ÉTENDUE MOYENNE du rejet.			
Matières.	Désignation.	à main droite.	à main gauche.	vers l'angle obtus.	vers l'angle aigu.
		mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
Quartz.	Cross-Courses.	3,73	2,16	2,82	4,95
Argile schisteuse. . . .	Flucans.	7,42	4,65	6,58	6,15

En rapport avec la puissance des veines, on a observé comme étendues moyennes des rejets, les nombres suivants :

PUISSANCE DU FILON REJETÉ.		ÉTENDUE MOYENNE du rejet.
	mètres.	mètres.
Moins de.	0,305 (1 pied).	3,78
Plus de.	0,305	7,00 (*)
Moins de.	0,61 (2 pieds).	2,77
Plus de.	0,61	7,47

PUISSANCE DU FILON REJETÉ.		PUISSANCE DU CROISEUR.		ÉTENDUE MOYENNE du rejet.
				mètres.
Plus de.	2 pieds.	Plus de.	1 pied.	7,62
Moins de.	—	Plus de.	—	4,90
Plus de.	—	Moins de.	—	5,19
Moins de.	—	Moins de.	—	1,42

(*) Deux rejets, l'un de 54^{m},90, l'autre de 82^{m},35, sont exclus de ce calcul.

— *Influence des plongements.* — Les résultats des intersections de filon plongeant en sens contraire par des croiseurs de plongements opposés, ont été observés dans les proportions suivantes :

RÉSULTATS des intersections.	FILONS PLONGEANT au nord.		FILONS PLONGEANT au sud.	
	Croiseurs plongeant à l'est.	Croiseurs plongeant à l'ouest.	Croiseurs plongeant à l'est.	Croiseurs plongeant à l'ouest.
Filons simplement coupés.	0,15	0,40	0,15	0,23
Filons rejetés à main droite. . . .	0,52	0,42	0,56	0,56
— à main gauche. . . .	0,33	0,18	0,29	0,21
— vers l'angle obtus. .	0,71	0,42	0,76	0,70
— vers l'angle aigu. .	0,14	0,18	0,09	0,07

Les diverses proportions des intersections simples, des rejets de filons par les croiseurs, tant à main droite qu'à main gauche, vers l'angle obtus que vers l'angle aigu, et l'étendue des rejets d'après les angles d'incidence sont les suivants :

ANGLES d'incidence.	FILONS simplement coupés.	FILONS REJETÉS				ÉTENDUE du rejet.
		à main droite.	à main gauche.	vers l'angle obtus.	vers l'angle aigu.	
degr. degr.						mètres.
0 — 10	—	—	—	—	—	—
10 — 20	×	×	—	×	—	1,83
20 — 30	0,01	0,03	×	0,03	×	4,65
30 — 40	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	7,27
40 — 50	×	0 04	0,03	0,05	0,02	9,86
50 — 60	0,03	0,03	0,03	0,05	×	5,90
60 — 70	0,05	0,06	0,05	0,11	0,01	3,76
70 — 80	0,04	0,14	0,07	0,15	0,06	4,80
80 — 90	0,09	0,18	0,07	0,22	0,04	4,34

Des résultats généraux, passons aux faits particuliers. On peut citer un exemple au moins du cas suivant : un filon (*lode*) et un croiseur (*cross-vein*), se recoupant l'un l'autre, alternativement, chacun deux fois, à des profondeurs différentes dans la même mine. La règle générale est que le

déplacement d'un même filon par un même croiseur a lieu dans le même sens (vers la même main), mais que l'étendue du rejet n'est pas la même aux diverses profondeurs ; cependant on connaît des cas où un même filon est rejeté à main droite à un niveau et à main gauche à un autre niveau ; en fait, si l'on suit sur les épontes des croiseurs les traces de chacune des deux parties du filon rejeté, les deux figures ainsi obtenues n'ont souvent qu'une légère ressemblance, et parfois elles se ressemblent à peine.

La plupart des filons traversés par le même croiseur sont les uns et les autres, soit simplement coupés, soit rejetés de la même manière; néanmoins l'un de ces filons, ici où là, est quelquefois rejeté en sens contraire. Ces cas exceptionnels forment seulement les 0,037 du nombre total des observations.

Les mêmes filons sont fréquemment coupés par plusieurs croiseurs à peu près parallèles; mais quoique distants de quelques toises seulement, ils subissent parfois des rejets différents.

Les elvans traversent les mêmes districts que les filons, et par suite de légères différences de direction et de plongement, ils sont fréquemment coupés par ceux-ci. Les croiseurs coupent elvans et filons ; mais tandis que sur un point ou un autre de leur parcours vertical ils rejettent des centaines de filons, c'est à peine si sur les elvans, qu'ils recoupent par vingtaines dans les mêmes mines, il s'en trouve une demi-douzaine de déplacés (*)

(*) Dans un exemple bien connu, un croiseur rejeté par un filon rejette deux autres filons ; les fragments de l'un d'eux sont encaissés dans le schiste d'un côté du croiseur et de l'autre dans l'elvan. L'elvan lui-même est simplement coupé.

Le déplacement de deux filons par un elvan à Polgooth, décrit en 1791 par le captain (Phillips) à M. Hawkins (*Cornwall Geol. Trans.*. t. I, p. 151, 152, Pl. V), a été examiné par moi avec un grand soin en 1831. (*Cornwall Geol. Trans.*, t. V, p. 128, 327, Pl. IX, *fig.* 10.)

Nous ne possédons que seize exemples d'intersections verticales ; c'est un nombre insuffisant pour servir de base à des conclusions certaines. Il est cependant digne de remarque que les déplacements (*leaps*, *throws*), des *filons d'étain* par des *slides* sont *en hauteur* et vers l'angle *aigu*, tandis que les filons de cuivre présentent soit une simple intersection, soit un rejet *en profondeur* et vers l'angle *obtus*.

— **Conclusions.** — Que les travaux d'exploration consistent en travers-bancs (*cross-cuts*) ouverts dans les roches (*country*), en vue de recouvrer les filons qui ont été rejetés par des croiseurs, ou qu'ils soient poursuivis sur les filons eux-mêmes (*on the courses of the lodes*), à la recherche des minerais qu'ils contiennent, ces travaux nécessairement iront en se rapprochant ou en s'éloignant du but proposé. Des règles générales, propres à guider le mineur, auraient un prix inestimable, mais il faut avouer que jusqu'ici ni la pratique ni la théorie n'en ont fourni aucune applicable à tous les cas. Étendre davantage notre expérience, coordonner les faits avec un plus grand soin : telle paraît être notre seule ressource. Mais quand on réfléchit à l'immense variété de faits toujours changeants, il faut se borner à espérer que nos hypothèses acquerront, à la longue, une plus grande probabilité, et que si la certitude absolue leur fait défaut, elles nous conduiront au moins plus près de la vérité.

NÉCROLOGIE.

M. DELAUNAY, INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES.

Delaunay (Charles-Eugène) était né à Lusigny (Aube), le 9 avril 1816. Entré à l'École polytechnique en 1834, il en sortit le premier, en 1836, et fut admis à l'École des mines.

Deux ans après, le jeune élève-ingénieur, dont la grande aptitude pour les sciences mathématiques était déjà constatée, était nommé répétiteur-adjoint du cours de géodésie et machines à l'École polytechnique. Les mémoires de géodésie et d'astronomie qu'il commença aussitôt à publier lui méritèrent, dès le commencement de 1844, l'honneur d'être placé sur la liste de présentation à une élection académique dans la section d'astronomie.

A la fin de cette même année, Delaunay était chargé de l'enseignement du dessin de machines et de la stéréotomie à l'École des mines, où il fit bientôt aussi, pour les élèves externes, un cours préparatoire de géométrie descriptive, de physique et de calcul infinitésimal élémentaire. Il n'est pas besoin d'ajouter que, dans ces fonctions, qui exigeaient des connaissances étendues et variées, Delaunay imprima une excellente direction à l'instruction des élèves externes. Mais, à la fin de 1850, après avoir été attaché, pendant un an, au service des appareils à vapeur du département de la Seine, il demanda à être placé dans le cadre de réserve; la carrière du haut enseignement qu'il avait embrassée était parcourue, par le jeune ingénieur,

avec tant de succès qu'il devait désormais se consacrer exclusivement à la science, à laquelle il était appelé à rendre de si grands services.

A la Sorbonne, Delaunay suppléa d'abord l'illustre Biot, dans la chaire d'astronomie physique, de 1841 à 1848, puis fut nommé professeur du cours de mécanique physique. A l'École polytechnique, il était devenu, en 1851, professeur du cours de mécanique et machines.

On sait que, le 4 août dernier, Delaunay a péri dans une excursion maritime qu'il faisait en rade de Cherbourg ; le canot où il était monté a brusquement chaviré, sous une bourrasque, sans qu'il ait été possible de porter secours à aucun des quatre naufragés. Aux obsèques du savant et si regrettable directeur de l'Observatoire de Paris, aucun des discours préparés par les représentants de cet établissement, à la tête duquel il avait été placé en 1870, de l'Institut, où il était entré en 1855, du bureau des longitudes, dont il faisait partie depuis 1862, et du corps des mines, n'a pu être prononcé, attendu que l'inhumation s'est faite à Ramerupt (Aube). C'est un motif de plus pour recueillir précieusement ces projets de discours, où les lecteurs des *Annales des mines* trouveront l'expression solennelle des légitimes hommages que mérite la mémoire de Delaunay.

I. — M. Faye, membre de l'Académie des sciences, au nom de l'Institut.

Honorés confrères, Messieurs,

Quelle mort cruelle que celle de notre confrère ! Frappé dans toute sa force, au beau milieu d'une existence couronnée des plus brillants succès, entouré de l'estime générale, admiré pour les plus beaux, les plus énergiques labeurs que puisse concevoir et mener à bonne fin la science de notre époque ; regretté de tous, car tous rendaient hommage depuis longtemps à ses fortes qualités : tel est l'homme

qui vient de nous être enlevé subitement, à la fleur de son génie, par une mort obscure et sans but, après avoir vaillamment supporté le siége de Paris et les terreurs de la guerre civile. Il y aurait, dans cette brusque exécution des décrets mystérieux d'une apparente fatalité, de quoi confondre nos esprits, si nous ne savions qu'il faut être prêt à toute heure. N'oublions pas, Messieurs, que nous sommes, grands et petits, dans une main suprême qui nous départit la vie et l'intelligence en vue du bien et du progrès, et qui soudainement peut clore à son gré la page où nous inscrivons les actes de notre vie ; heureux si, comme Delaunay, nous avons bien usé du temps qui nous est laissé, si, comme lui, nous avons augmenté la science et fait avancer l'esprit humain vers la vérité divine !

Car jamais existence n'a été mieux employée que celle de notre confrère. Sa vie, hélas ! trop courte, a été consacrée aux plus rudes travaux dont l'honneur puisse rejaillir sur notre pays. Des gens, qui ne songent qu'aux infortunes d'un jour, parlent de la puissance scientifique qui aurait déserté cette terre pour aller féconder des races nouvelles : qu'ils nous montrent donc ailleurs un esprit plus solide, qui se soit attaqué à de plus grands problèmes et les ait aussi vigoureusement traités et résolus ! La *Théorie de la Lune*, de Delaunay, est l'œuvre d'une virilité scientifique élevée à la plus haute puissance de ce siècle. L'Académie, héritière de cette œuvre, que Delaunay a entreprise pour elle et publiée sous son patronage, de ce travail énorme que les plus compétents jugeaient impossible avant lui et où nous admirons à la fois la simplicité dans la méthode et la puissance dans l'application, l'Académie, dis-je, ne la laissera pas inachevée.

Je voulais d'abord vous retracer les appréciations qui ont accueilli à l'étranger cette œuvre colossale ; mais à quoi bon chercher à tromper votre douleur ? Devant ce coup inattendu, devant ce désastre public, je ne me sens pas la force de le faire. Les savants interprètes du Bureau des longitudes,

de l'Observatoire et du Corps des mines, vous parleront mieux que moi de cette vie si bien remplie. D'ailleurs, cher confrère, l'Institut ne se tient pas quitte pour si peu envers vous : dans une séance solennelle, consacrée à votre mémoire, l'Académie des sciences vous rendra un complet et solennel hommage. La France sait déjà, mais elle connaîtra mieux alors l'œuvre grandiose que vous avez élevée en l'honneur de la science et de votre pays. En ce moment, tout entier à mon profond regret, je ne puis que partager la douleur de vos camarades et de vos élèves ; je m'arrête devant ces larmes que je vois aux yeux de vos maîtres et de vos anciens. Adieu donc, cher confrère ! nous garderons tous le souvenir de votre grand esprit, si noblement uni à tant de loyauté et d'amour du bien. Adieu, et puissions-nous marcher jusqu'au bout sur vos traces !

II. — M. PUISEUX, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, AU NOM DU BUREAU DES LONGITUDES.

Messieurs,

Je viens, au nom du Bureau des longitudes, exprimer la profonde douleur que nous cause, à mes collègues et à moi, la mort du savant éminent auquel nous rendons en ce jour les derniers devoirs. M. Delaunay, dans toute la force de l'âge, dans toute la vigueur de son talent, semblait destiné à vivre de longues années encore ; il avait entrepris une de ces tâches qui exigent la vie d'un homme presque entière ; mais nul de nous ne doutait qu'il ne parvînt à l'accomplir jusqu'au bout. La Providence en a disposé autrement, et la science, le pays, se voient enlever soudainement, par un de ces coups mystérieux qui confondent notre raison, l'homme dont ils pouvaient attendre encore tant d'utiles et de glorieux travaux.

Par les rares qualités de son esprit, M. Delaunay était en état d'aborder, avec un égal succès, les diverses branches des sciences exactes ; ses premiers mémoires montrent assez qu'il aurait pu se placer à un rang élevé parmi les géomètres ; mais l'astronomie devint de bonne heure l'objet principal de ses études. Il publiait, dès 1844, un travail important sur un point délicat de la théorie des marées, et, à la même époque, il commençait à se préoccuper de la question bien autrement vaste du mouvement de la lune.

On sait combien la connaissance exacte de ce mouvement importe à l'astronomie et à la navigation ; mais on sait aussi quelles difficultés présente la détermination des innombrables inégalités de la lune. Exprimer le mouvement de cet astre par des formules analytiques dans lesquelles aucun terme sensible ne soit négligé, en déduire des tables d'où l'empirisme soit banni, tel est le but que s'est proposé notre regretté collègue, et ceux-là seuls qui ont examiné la question de près peuvent se rendre compte de l'immensité d'une pareille tâche. La nécessité de pousser l'approximation plus loin que ne l'avaient fait l'auteur de la Mécanique céleste et l'habile géomètre Plana augmentait le travail dans une proportion effrayante ; d'ailleurs, les méthodes suivies jusque-là conduisaient à des calculs tellement compliqués qu'il eût été à peu près impossible d'éviter et de reconnaître les erreurs.

Il fallait donc imaginer une marche nouvelle, qui permît de décomposer le travail en une série d'opérations successives, exécutées par un procédé uniforme et dont chacune se prêtât à une vérification rigoureuse. Cette condition, sans laquelle le problème devenait inextricable, M. Delaunay parvint à la remplir ; le mémoire dans lequel il expose sa méthode et qui fut présenté à l'académie, en 1846, montre avec quelle sagacité il savait tirer parti des ressources de l'analyse.

Depuis cette époque, M. Delaunay ne s'est jamais laissé

détourner de l'important travail auquel il s'était dévoué. En 1860, après plus de quatorze ans d'un labeur assidu, il publiait le tome Ier de sa *Théorie de la Lune* : pendant cet intervalle, il avait, dans des mémoires du plus haut intérêt, traité diverses questions se rapportant au même sujet, notamment le problème si controversé de l'accélération séculaire. Sept ans plus tard, paraissait un second volume, formant avec le précédent la partie de beaucoup la plus difficile du travail entrepris par l'auteur. Le troisième volume, dont les matériaux étaient pour la plupart préparés depuis longtemps, devait compléter prochainement ce grand ouvrage.

Non content d'avoir établi les expressions analytiques des coordonnées de la lune, M. Delaunay avait entrepris de les réduire en tables. Les calculs numériques, commencés depuis plusieurs années, s'exécutaient sous sa direction ; le Bureau des longitudes avait pris ce travail sous son patronage et obtenu de l'État les fonds nécessaires ; peu d'années encore eussent suffi pour le terminer. Les nouveaux devoirs qu'avaient imposés à M. Delaunay les fonctions de directeur de l'Observatoire ne l'empêchaient pas de poursuivre son œuvre de prédilection ; vous le voyez, Messieurs, il touchait presque au terme, lorsque la mort est venue trancher le fil de cette vie dévouée à la science.

Quoique l'auteur ne soit plus là pour y mettre la dernière main, il ne sera sans doute pas impossible de terminer ce monument scientifique. Espérons, Messieurs, pour la gloire de l'astronomie française, que ce service sera rendu à la science, que ce suprême hommage ne manquera pas à notre illustre confrère.

III.— M. Yvon Villarceau, membre de l'Académie des sciences, au nom de l'Observatoire national de Paris.

Messieurs,

Je dois au privilége de l'ancienneté l'honneur de vous parler, au nom de l'Observatoire national, de l'astronome éminent que la science vient de perdre.

Mardi dernier, la nouvelle d'un affreux malheur a plongé dans la consternation le personnel de l'Observatoire de Paris : son Directeur, M. Delaunay, venait de périr victime d'une catastrophe en dehors de toute prévision. Le coup dont l'Observatoire était atteint frappait en même temps le fils et la mère, ainsi que les nombreux amis de M. Delaunay. Vous avez tous ressenti, Messieurs, la cruelle émotion qu'un coup si inattendu devait inévitablement produire : vous me pardonnerez d'essayer d'écarter un instant le souvenir d'un aussi lugubre tableau, en vous rappelant les traits principaux de la vie scientifique de celui que vous pleurez en ce moment.

M. Delaunay était, avant tout, un théoricien distingué. Un beau mémoire sur le calcul des variations a marqué son début dans la science : cependant le goût des recherches astronomiques ne tarda pas à se développer chez lui, et ce ne fut pas sans émotion que l'on vit deux jeunes savants aborder un sujet qui avait exercé la sagacité du doyen de l'astronomie française, M. Bouvard, l'auteur de la plupart des tables astronomiques alors en usage. Le sujet était admirablement choisi et devait, selon toute probabilité, conduire à des résultats importants : MM. Delaunay et Leverrier entrèrent dans la lice : grâce aux controverses qui s'élevèrent, la lumière se fit sur la cause des perturbations d'Uranus, et l'on fut heureux de voir s'ajouter deux noms à la liste des successeurs des hommes illustres qui s'appelaient Lagrange, Laplace, Poisson et Damoiseau. Après la découverte de Nep-

administration. Une année s'est écoulée depuis que le calme rétabli a permis de reprendre les travaux réguliers. M. Delaunay tenait à ce que l'établissement continuât de briller avec éclat au milieu des nombreux observatoires répandus dans le monde entier; mais il tenait surtout à ce qu'une nouvelle génération d'astronomes se produisît rapidement, de manière à assurer le développement des études astronomiques dans notre pays, conformément aux intentions libérales du gouvernement de la République. Aussi croyons-nous que son court passage à l'Observatoire aura eu néanmoins cet important résultat de propager les connaissances astronomiques, trop négligées aujourd'hui, dans un pays où elles ont été cultivées avec tant de succès durant le siècle dernier.

Si le temps et les événements n'ont pas permis à M. Delaunay de faire davantage, il ne lui restera pas moins la gloire d'avoir accompli la plus grande partie d'un travail colossal, et suffisant pour assurer à sa famille un nom que la postérité n'oubliera pas.

Adieu, honoré Directeur, adieu !

IV. — M. DAUBRÉE, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES, DIRECTEUR DE L'ÉCOLE DES MINES, AU NOM DU CORPS DES MINES.

Messieurs,

Devant la dépouille mortelle de Delaunay, le Corps des mines ne saurait se taire ; il y a pour lui, tout à la fois, un devoir à remplir, une gloire à revendiquer.

Et, en effet, l'Institut, l'Observatoire, le Bureau des longitudes, la Faculté des sciences et l'École polytechnique, qui ont reçu de Delaunay une coopération si efficace, en science

et en travail, n'ont pas exclusivement absorbé les utiles labeurs de sa vie.

Sorti le premier de l'École polytechnique, il entra en 1836 à l'École des mines. Les mémoires et journaux de voyages d'instruction qu'il rédigea, en 1839, pendant son séjour à cette École, sur les houillères des bassins de Saint-Étienne et du Creusot, ainsi que sur l'industrie du fer et de l'acier dans les centres d'exploitation les plus importants de la France, témoignent à ceux qui peuvent les consulter chaque jour, que cet esprit lucide, si habile dans les spéculations théoriques, savait pénétrer les questions les plus pratiques de l'industrie, les embrasser de haut et les exposer sous une forme lumineuse.

Alors qu'il était encore élève-ingénieur des mines, il fut distingué par ses anciens maîtres, qui l'appelèrent à être répétiteur de géodésie à l'École polytechnique. Ce cumul, tout honorable qu'il fût, soulevait une objection administrative; mais elle fut heureusement levée par le conseil de l'École des mines, qui, devinant les aptitudes de Delaunay (*), demanda pour lui la faculté de réunir à ses travaux d'élève-ingénieur les fonctions de répétiteur à l'École dont il était naguère sorti d'une manière si brillante.

L'ingénieur des mines tint à payer sa dette au corps dont il était membre ; le professorat à l'École d'application ne tarda pas à lui en fournir une précieuse occasion.

Cette École, qui donne à l'État des ingénieurs officiels, fournit aussi des ingénieurs civils à l'industrie minière et métallurgique. Pour ce dernier objet, des *cours préparatoires* paraissaient nécessaires, afin de combler, chez un bon nombre des auditeurs, la lacune de l'enseignement polytechnique.

(*) Les termes de la délibération du 19 décembre 1838 montrent combien le conseil de l'École et, en particulier, Cordier, son éminent président, appréciaient déjà la valeur et l'avenir du jeune élève.

C'est dans cette partie essentielle de l'enseignement que Delaunay a marqué, en caractères ineffaçables, son passage à l'École des mines, où, pendant six années, de 1845 à 1850, il professa successivement la géométrie descriptive, la stéréotomie, le dessin des machines, la mécanique analytique et la physique élémentaire.

L'enseignement solide et efficace de ce maître si clair fut une bonne fortune pour les élèves et aussi pour l'institution de ces cours préparatoires, dont Delaunay fut le véritable fondateur. Il y a quelques mois à peine, le Directeur de l'Observatoire revendiquait, hautement et très-justement, devant l'un de ses collègues, ce côté aussi utile que modeste de ses états de service.

Le professorat à l'École des mines ne représente point toute la participation prise par Delaunay au service officiel du corps dont il faisait partie : il remplit encore, en 1850, les fonctions d'ingénieur ordinaire au service des appareils à vapeur du département de la Seine. Dans ce service spécial, où deux autres maîtres de la science l'avaient précédé, Combes et Sénarmont, Delaunay prouvait une fois de plus, par ses actes, ce que son petit *Traité de mécanique*, si cher aux ingénieurs, montre admirablement, que la science la plus vraie et la plus élevée ne dédaigne pas les applications utiles.

A dater de 1850, Delaunay fut détaché exclusivement à l'École polytechnique, ainsi que l'avaient été d'illustres devanciers, Lamé, Regnault, Sénarmont, et, comme eux, il reçut, de la manière la plus méritée, ses grades successifs dans le Corps des mines, où il fut nommé ingénieur en chef, en 1858, et élevé, en 1867, à la 1re classe de son grade.

L'ingénieur se reconnaît dans une foule de notions pratiques consignées dans ses publications sur la mécanique : le géologue se devine, surtout, dans une de ses notices, où, comme Arago, il montre le rare talent de vulgariser la science, sans l'abaisser.

Rappelons enfin que c'est à l'École des mines que Delaunay a débuté dans l'enseignement scientifique, qu'il devait professer si brillamment à l'École polytechnique et à la Faculté des sciences.

Sans doute, je ne crains pas de le redire, l'Institut, l'Observatoire, le Bureau des longitudes, la Faculté des sciences, l'École polytechnique, revendiquent et pleurent justement l'éminent collègue, auquel nous venons dire un dernier adieu ; mais le Corps des mines, dont il était le fils, comme il aimait à le rappeler, et, nous devons ajouter, l'une des gloires, n'oubliera jamais le concours vaillant qu'il apporta à l'École des mines, dont je suis ici l'interprète. Ce n'est pas assez de proclamer notre gratitude ; la douleur de tout le Corps dira au pays nos regrets. Qu'il me soit permis, au milieu du deuil universel, de donner une larme à l'ami, dont un si affreux événement vient de nous séparer.

Voici la liste des principaux ouvrages de Delaunay, autres que les *Tables de la lune*, qu'il laisse inachevées :

Traité de mécanique rationnelle ;

Cours élémentaire de mécanique théorique et appliquée ;

Cours élémentaire d'astronomie ;

Table alphabétique et table analytique des matières contenues dans les additions à la connaissance des temps, de 1822 *à* 1867 ;

Additions à la connaissance des temps (1861-1869).

NOTE

SUR L'AFFINAGE DE LA FONTE PAR LE PROCÉDÉ DANKS.

(Extraite des Rapports de la commission de l'*Iron and Steel Institute*,
par H. AMIOT, ingénieur des mines [*].)

Depuis quelques années, les prix élevés de la fonte, de la houille et de la main-d'œuvre ont obligé les maîtres de forges anglais à porter sérieusement leur attention vers le perfectionnement du puddlage. De nombreuses améliorations ont été essayées. On s'est proposé à la fois : de rendre cette opération moins pénible pour l'ouvrier, et d'y faire la part moins large à sa force et à son expérience; d'obtenir une meilleure élimination des impuretés de la fonte, surtout du soufre et du phosphore ; de diminuer la consommation de combustible, ainsi que le déchet dû à la formation de la scorie. Dès sa fondation en 1870, l'*Iron and Steel Institute* avait pris part à ce mouvement en nommant une commission spéciale, chargée d'étudier la question du puddlage. C'est alors que dans la réunion annuelle de la société, tenue à Dudley, en août 1871, un ancien puddleur du Staffordshire, M. Samuel Danks, fit connaître son four tournant. Cet appareil avait été essayé aux États-Unis en 1868, et adopté par plusieurs forges; M. Danks lui attribuait de grands avantages au triple point de vue de la commodité et de la facilité du travail, du rendement, de la qualité du fer. Sur sa demande, la com-

---

(*) Voir le *Journal of the Iron and Steel Institute*, N° I, part. I. Janvier 1872, et l'*Engineer* des 29 mars, 5 et 12 avril 1872.

mission du puddlage désigna une sous-commission de trois membres pour aller en Amérique étudier le fonctionnement de ses fours. Les trois commissaires, MM. J. A. Jones, G. J. Snelus et J. Lester, partirent au commencement d'octobre avec des instructions détaillées et des matières (fontes et minerais) à traiter comme essai. Leurs expériences ont eu lieu aux forges du chemin de fer de Cincinnati (Cincinnati Railway Iron Works). Leur rapport a été soumis en janvier 1872 à la commission du puddlage. Ils l'ont complété depuis en étudiant, dans trois rapports supplémentaires, M. Snelus la théorie chimique du procédé, M. Lester ses détails pratiques, M. Jones ses résultats économiques. La note suivante est un extrait de ces divers rapports, ainsi que de la description donnée par M. Danks au meeting de Dudley (*).

En principe, le procédé Danks consiste dans l'emploi d'un four dont le laboratoire est un cylindre horizontal, pouvant recevoir un mouvement de rotation autour de son axe, et revêtu intérieurement d'un enduit d'oxyde de fer. La rotation du cylindre produit le brassage de la fonte, et les parois fournissent l'oxygène nécessaire à l'oxydation du carbone. L'ouvrier est ainsi dispensé de la manœuvre pénible du crochet, et il n'a plus à souffrir de la chaleur du four. En même temps, le rendement est augmenté par la réduction partielle de l'oxyde de fer des parois, et la qualité est améliorée par une élimination plus complète du soufre et du phosphore.

Le four tournant n'est du reste pas une nouveauté. Il est employé depuis plusieurs années dans la fabrication du carbonate de soude (chez MM. Gaskell et Deacon, à Widnes); il a été proposé pour le grillage des minerais d'or et d'ar-

---

(*) Un four expérimental a été construit à l'usine de MM. Hopkins, Gilkes and C^e, Middlesborough. Une expérience publique, à laquelle j'ai assisté, y a eu lieu le 5 avril dernier.

gent par M. Rivot (*Annales des mines*, tome XVIII, 6e série). M. Menelaus, puis M. Spencer, ont essayé de l'appliquer au puddlage. Le four Spencer est actuellement en expérience. Quant à celui de M. Menelaus, il a échoué; il était impossible de trouver un revêtement intérieur qui ne fût pas très-vite détruit, et de plus l'emploi de celui qui résistait le moins mal, le sable argileux réfractaire (ganister), introduisait dans le fer une forte proportion de silicium. La manière de composer et de mettre en place ce revêtement, et les détails de la construction du four, sont la part qui appartient en propre à M. Danks.

Description du four (voir Pl. V, *fig.* 1, 2; Pl. VI, *fig.* 1). — Le four représenté et décrit ici est fait pour traiter une charge de 600 livres anglaises (288 kilog.) par opération. Il se compose de trois parties: la chauffe, comprenant le pont; la chambre tournante; le rampant, formé d'un carneau fixe et d'une pièce mobile.

La chauffe est une grille ordinaire soufflée. Elle a 1m,06 de long sur 0m,82 de large. L'air vient d'un ventilateur; une partie est amenée sous la grille par un tuyau de 0m,20 de diamètre; le reste débouche au-dessus, par deux rangées de petits tubes traversant le mur de fond au niveau du pont. L'arrivée de l'air est réglée par une soupape. Le pont est formé d'une plaque de fonte à circulation d'eau, revêtue d'un côté de briques réfractaires, de l'autre d'un garnissage pareil à celui de la chambre tournante. Il s'élève à 0m,40 au-dessus de la grille. Enfin contre lui s'appuie un fort anneau de fonte, à circulation d'eau. Sur sa face extérieure, moulée en coquille et bien plane, frottent les bords de la chambre tournante.

La chambre tournante est un cylindre en fonte de 1m,20 de longueur sur 1m,60 de diamètre intérieur. Les deux extrémités sont des troncs de cône armés de cercles de fer, et terminés par des anneaux posés à plat, qui frottent sur d'autres anneaux plats fixés à la chauffe et au rampant. Le

cylindre est formé de douves en fonte, maintenues à leurs deux bouts par les troncs de cône. Elles portent douze nervures longitudinales, creuses, saillantes à l'intérieur de la chambre, et destinées à retenir le garnissage et à le rafraîchir; à cet effet, elles reçoivent un filet d'eau. Les deux troncs de cône portent aussi des saillies à l'intérieur. Chacun d'eux présente extérieurement une partie tournée qui s'appuie sur deux rouleaux portés par une plaque de fondation. Enfin l'un d'eux fait corps avec une couronne dentée qui reçoit d'un pignon un mouvement de rotation et le communique à la chambre.—Le tronc de cône antérieur est percé d'un trou pour l'écoulement des scories.

Le rampant est à angle droit sur l'axe du four. La partie mobile est en fonte, garnie comme la chambre tournante; la paroi antérieure est à circulation d'eau, et porte une petite ouverture qui sert à suivre la marche de l'opération et à passer un crochet pour faire couler la scorie, former la loupe, etc. Cette pièce est maintenue appliquée contre le laboratoire à l'aide de deux étais appuyés sur des roues à rochet; elle est suspendue par deux tiges de fer à un petit chariot mobile sur un chemin de fer aérien. Il suffit de détacher les étais pour pouvoir l'enlever, en faisant marcher le chariot; on est ainsi dispensé de ménager une porte sur la surface cylindrique de la chambre tournante. — A la suite de la pièce mobile vient un carneau fixe qui débouche dans une cheminée.

A chaque four est attachée une petite machine à vapeur chargée de mouvoir la chambre tournante. Elle est installée sur l'un des côtés de la chauffe; dans le four expérimental construit chez MM. Hopkins et Gilkes, à Middlesborough, elle se compose de deux petits cylindres verticaux de 0m,22 de diamètre sur 0m,30 de course; ils agissent sur un arbre portant un petit volant et un pignon; celui-ci engrène avec une roue de diamètre double, montée sur l'arbre du pignon qui commande la couronne dentée de la

chambre tournante. Celle-ci fait un tour pour environ vingt tours de l'arbre premier moteur. Il paraît que cette machine est plus puissante qu'il ne serait nécessaire.

Auprès du four est établie une grue, à la chaîne de laquelle on peut accrocher les outils employés pour le chargement ou le déchargement. Pour le chargement, c'est une cuiller, et pour le déchargement, une fourche (Pl. VI, *fig. 3*); leur manche, de 3 mètres de long, porte à son extrémité une barre en croix.

Garnissage. — Le choix des matières employées à garnir l'intérieur de la chambre tournante, et la manière de les y faire tenir, ont une très-grande importance; chaque renouvellement du garnissage entraîne une dépense et une perte de temps notables.

Le garnissage se compose de deux couches : l'enduit initial, et la sole proprement dite.

L'enduit initial, s'il est fait avec soin, dure longtemps. Il se compose d'un mélange de minerai de fer broyé et de lait de chaux, ayant la consistance du mortier. On enduit d'abord un tiers de la surface intérieure ; la couche dépasse de $0^m,025$ environ les nervures creuses. On la sèche à l'aide d'un feu de bois, puis on procède de même pour le second et le troisième tiers. Il faut dix à onze heures pour cette opération. L'enduit devient dur et adhère parfaitement, s'il est bien fait. — Le minerai de fer employé doit contenir peu de silice (au plus 5 p. 100) et être exempt d'eau de combinaison ; s'il en contient, lorsqu'elle se dégage, l'enduit se fissure. — Dans une expérience, on a employé pour l'enduit initial :

	kilog.
Minerai	1.508
Lait de chaux épais	231

On allume ensuite le feu et l'on chauffe pendant quatre à cinq heures. Puis on introduit une certaine quantité de scorie de cinglage, que l'on fond ; elle forme un vernis à la

surface de l'enduit initial. — Alors on commence à s'occuper de la sole proprement dite. On charge une certaine quantité de minerai pulvérisé, et on le fond; puis on fait tourner le four lentement. Une partie du minerai peut encore s'ajouter au vernis déjà existant ; le reste, quand on arrête le four, forme au bas une flaque. On y projette des fragments de minerai froid, qui s'élèvent plus ou moins au-dessus de la surface du bain; ils refroidissent celui-ci qui se prend autour d'eux et forme une sole inégale. Alors on charge une deuxième dose de minerai pulvérisé, on fait tourner lentement le four; puis quand ce minerai est fondu, on y projette des morceaux froids, en s'arrangeant pour que la nouvelle portion de la sole soit contiguë à la précédente. On garnit ainsi tout l'intérieur en cinq fois. — Le bain peut être formé d'un minerai peu siliceux quelconque. M. Danks y fait entrer une certaine quantité de rognures de fer, qui commencent à s'oxyder. On pourrait, dit M. Snelus, substituer entièrement au minerai des scories de fours à réchauffer (pourvu que l'on emploie dans ces fours, pour protéger le fer, non du sable, mais un bain d'oxyde, des rognures oxydées, etc.).—Quant au minerai en morceaux, il doit être peu siliceux; suffisamment réfractaire et anhydre, et ne pas se fissurer par la chaleur. — La formation d'une sole complète a duré sept heures dans l'expérience déjà citée, et a exigé :

	kilog.
Scories de cinglage.	215
Minerai pulvérisé.	581
Minerai en morceaux.	680

On a dépensé en tout pour allumer, sècher le four et faire la sole 3.050 kil. de charbon.

La commission a essayé, outre le minerai de la Montagne de Fer, employé à Cincinnati, divers minerais anglais, ou étrangers mais faciles à se procurer en Angleterre : Blue Billy (résidu laissé par les pyrites de fer après les traitements

pour soufre et pour cuivre) ; Pottery Mine (minerai du Staffordshire) ; minerais de Bilbao, de Lisbonne, de Marbella ; ilménite. Voici la teneur de quelques-uns en silice et en eau de combinaison :

POUR 100.	BLUE BILLY.	BILBAO.	LISBONNE.	MARBELLA.
	résidu insoluble.			
Silice.	4,02	5,05	5,00	7,78
Eau combinée.	»	4,24	5,62	2,00

Le minerai de la Montagne de Fer est une hématite très-dure et très-pure ; il est excellent pour le garnissage. Le Blue Billy réussit bien pour l'enduit intérieur, le Bilbao assez bien. Ces deux minerais et le Lisbonne peuvent servir pour la formation du bain. Le Marbella était très-bon pour les morceaux à charger froid ; on n'a pas pu l'essayer pour le bain. Le Pottery Mine contenait trop de matière terreuse, et laissait dans la loupe une scorie difficile à expulser. L'ilménite projetée en morceaux se fissurait ; de plus, elle laissait dans les barres puddlées une forte proportion d'acide titanique.

La sole peut généralement n'être refaite qu'à la fin de chaque poste. Quelquefois il faut une réparation pendant le poste, mais c'est un cas exceptionnel, qui ne se produit pas si l'on a de bons matériaux.

Opération. — Les diverses phases de l'opération sont les mêmes que dans le puddlage ordinaire : 1° fusion ; 2° affinage, comprenant lui-même : scorification, — décarburation, — formation de la loupe.

La fonte en morceaux est chargée à l'aide de la cuiller, la pièce mobile du rampant étant écartée. Avant la fonte on a mis une quantité de scorie plus ou moins forte, pouvant aller jusqu'à un poids égal au sien ; mais on se tient généralement entre 30 et 60 p. 100. Cette scorie forme à la surface du bain un vernis qui le protége contre l'oxydation

par l'air, et sa présence préserve la sole d'une corrosion trop rapide. On remet la porte en position, et l'on chauffe de manière à fondre graduellement la charge; on fait faire de temps en temps une demi-révolution au four, de manière à exposer tous les points de la charge à l'action de la flamme.

Une fois la charge fondue, on fait tourner la chambre avec une vitesse de deux à trois tours par minute, de manière à soumettre le métal à l'action de la scorie. On injecte de temps en temps par le trou de la pièce mobile un jet d'eau sur la scorie, du côté de la chambre qui descend. On en solidifie ainsi une partie, et on l'oblige à passer à travers le bain de fonte; de cette façon aucun point ne peut échapper à son action. Le silicium de la fonte s'oxyde et s'unit à de l'oxyde de fer; en même temps le soufre et le phosphore passent dans la scorie.

Au bout d'un temps plus ou moins long, suivant la nature de la fonte, la scorification est terminée; la décarburation, qui a commencé avec la fusion et qui a continué pendant la scorification, devient plus rapide, le bain perd de sa fluidité. Alors on donne un petit coup de feu de manière à rendre la scorie bien liquide, et l'on arrête la chambre tournante dans une position telle que le trou de coulée affleure la surface de la fonte. On le débouche; puis à l'aide d'un petit crochet, on repousse légèrement la fonte qui l'environne, et l'on fait couler la scorie. Alors on rebouche le trou de coulée, on pousse le feu et l'on fait marcher la chambre à six ou huit tours par minute. Le métal doit rester pâteux; s'il devient liquide, c'est que l'on avait fait couler la scorie trop tôt. Le métal est secoué fortement contre les parois; la décarburation avance rapidement; à la fin il se produit une sorte d'ébullition.

Alors les particules commencent à se souder; on abaisse la vitesse à deux ou trois tours pendant un instant; la loupe se forme. Si l'on voit quelques pièces de métal qui en soient

détachées, on les fait toutes passer d'un même côté de la loupe, et l'on s'arrange pour que dans le mouvement de la chambre celle-ci vienne tomber sur elles. Enfin on arrête la rotation; on comprime légèrement l'extrémité de la loupe avec un crochet. Puis on enlève la pièce mobile, et l'on défourne la loupe. On emploie à cet effet la fourche (Pl. VI, *fig.* 3). On l'introduit de champ dans la chambre, et en faisant faire à celle-ci un tiers de révolution, on dépose la loupe entre les bras de la fourche. Alors on l'emmène au squeezer.

La durée de ces diverses périodes varie beaucoup suivant la nature de la fonte, et pour la même fonte, suivant la conduite du feu, la quantité de scorie ajoutée, etc. La commission anglaise a essayé des fontes de diverses sortes : des fontes grises du Staffordshire (Coneygree), du Derbyshire (Butterley), du pays de Galles (Dowlais, Tin plate pig), du Cleveland; des fontes blanches de Dowlais, ordinaires (Bar pig), ou faites avec un lit de fusion très-chargé en scorie, et par suite, très-riches en soufre et en phosphore (Crystal pig). L'opération est notablement plus longue pour les fontes grises; elle dure d'une heure à une heure et demie, savoir :

Fusion.	30 minutes à 1 heure.
Scorification.	5 à 25 minutes, ordinairement 8 à 15.
Décarburation.	10 à 30 minutes.
Formation des loupes.	2 à 6 minutes.

Avec la fonte blanche, l'opération ne dure qu'une heure environ. La fusion et la décarburation sont un peu plus rapides; quant à la scorification, elle dure un temps très-court, trois minutes au plus; souvent même elle est à peine sensible, et l'on ouvre le trou de coulée des scories aussitôt que la fusion est complète. La fonte blanche contient généralement, en effet, moins de silicium que la grise.

Dans les expériences, on n'avait pas chargé de scorie avec la fonte blanche.

La commission a essayé la possibilité du puddlage pour acier; les résultats ont été médiocrement satisfaisants, par suite peut-être de l'inexpérience des ouvriers. M. Snelus cite un exemple dans lequel un échantillon de fonte grise du Derbyshire, pris dix minutes avant la formation de la loupe, contenait encore 1,35 p. 100 de carbone, tandis que la teneur en silicium, soufre et phosphore était presque à son minimum; il en conclut qu'on pourrait, avec une bonne fonte, obtenir de l'acier puddlé, mais aussi irrégulièrement qu'au four ordinaire.

Cinglage. — Le fer obtenu forme une loupe unique, de 300 kilog. On peut opérer le cinglage sous un marteau-pilon; mais il faut, pour bien faire, que ce marteau ait des dimensions considérables, et la manœuvre de la loupe pendant le martelage est toujours pénible. On se trouve bien en Amérique de l'emploi du squeezer dit de Winslow, perfectionné par M. Danks (Pl. VI, *fig.* 2). Il se compose de deux cylindres cannelés, de $1^m,20$ de long et $0^m,46$ de diamètre; ils sont disposés horizontalement, côte à côte. Ils tournent dans le même sens avec une vitesse de 15 à 20 tours par minute. Au-dessus, se meut une grande came dont la circonférence reçoit la même vitesse que celle des deux cylindres. Sur le côté du bâti est un marteau à vapeur horizontal, dont l'extrémité frappe le bout de la loupe pendant qu'elle est comprimée par la came entre les deux cylindres. Après deux tours de la came, la loupe est enlevée, saisie par des pinces, portée au four à réchauffer, et de là au laminoir.

Résultats chimiques. — Il faut maintenant examiner de quelle manière et jusqu'à quel point s'opère l'élimination des éléments étrangers de la fonte.

La fonte grise et la fonte blanche se comportent très-différemment en ce qui concerne le carbone. La première

conserve le sien presque en entier jusqu'à la fin de la scorification ; la seconde commence à le perdre pendant la fusion. On le verra par le tableau suivant, extrait, ainsi que toutes les analyses que je citerai, du rapport de M. Snelus :

CARBONE p. 100.	FONTES GRISES. Staffordshire. Graphite.			Derbyshire.			Cleveland.			FONTE BLANCHE de Dowlais. (Crystal pig.)
	Graphite.	C combiné.	C total.	Graphite.	C combiné.	C total.	Graphite.	C combiné.	C total.	
Dans la fonte.	2,60	0,15	2,75	2,75	0,36	3,11	2,61	0,57	3,18	2,31
Après la fusion.	1,29	1,26	2,55	»	»	»	1,38	1,45	2,83	1,29
A la coulée des scories.	»	2,50	2,50	»	»	2,90	»	2,80	2,80	3 minutes après 0,00

On voit en même temps que, pendant la fusion, une partie du graphite de la fonte grise se dissout dans le métal, en passant à l'état de combinaison, et que cette action est terminée lors de la coulée des scories.

Le silicium commence à partir pendant la fusion ; il en reste un peu après la scorification, et l'on en retrouve autant, quelquefois même plus, dans le fer puddlé (après cinglage au squeezer), ce qui tient en très-grande partie à la petite quantité de scorie qui reste dans le fer.

SILICIUM p. 100.	FONTES GRISES. Staffordshire.	Derbyshire.	Cleveland.	Dowlais. (Tin plate.)	FONTES BLANCHES. Dowlais. Bar pig.	Crystal pig.
Dans la fonte.	2,25	2,15	1,24	3,24	1,09	0,89
Après la fusion.	0,92	»	0,82	»	»	0,18
A la coulée des scories.	0,27	0,47	0,20	»	»	0,17
Dans le fer puddlé.	0,38	0,39	0,14	0,49	0,31	0,33
Supposé dans le fer.	0,19	»	»	0,39	»	0,18

L'expulsion du soufre commence pendant la fusion, d'une façon bien plus marquée pour la fonte blanche ; elle continuè jusqu'à la fin. Il en est de même du phosphore.

SOUFRE p. 100.	FONTES GRISES.				FONTES BLANCHES. Dowlais.	
	Staffordshire.	Derbyshire.	Cleveland.	Dowlais. (Tin plate.)	Bar pig.	Crystal pig.
Dans la fonte	0,13	0,02	0,11	0,11	0,72	0,76
Après la fusion	0,11	»	0,10	»	»	0,25
A la coulée des scories	0,07	0,01	»	»	»	0,07 3 minutes après la coulée.
Dans le fer puddlé	0,06	0,05	0,04	0,2	0,07	0,06
Supposé dans le fer	»	0,04	0,03	»	»	0,04

PHOSPHORE p. 100.	FONTES GRISES.				FONTES BLANCHES. Dowlais.	
	Staffordshire.	Derbyshire.	Cleveland.	Dowlais. (Tin plate.)	Bar pig.	Crystal pig.
Dans la fonte	0,63	1,01	1,49	0,22	0,57	2,18
Après la fusion	0,36	»	0,91	»	»	0,86
A la coulée des scories	0,30	0,51	0,58	»	»	0,41 3 minutes après la coulée.
Dans le fer puddlé	0,25	0,21	0,47	0,06	0,23	0,39
Supposé dans le fer	0,22	0,16	0,43	0,06	»	0,20

On voit que l'élimination du soufre et du phosphore se fait bien; c'est surtout remarquable pour les fontes blanches. Elles ont été puddlées sans addition de scories; ces scories, qui tenaient en moyenne 1 p. 100 de phosphore, pouvaient en prêter aux fontes les plus pures, au lieu de leur en enlever. C'est dans ce cas surtout qu'il serait bon de leur substituer des rognures oxydées. Mais les analyses de fers puddlés ne donnent pas une idée exacte de la composition des fers marchands qu'ils fourniront; en effet, une partie du silicium, du soufre et du phosphore qu'ils contiennent sont dus aux gouttes de scories restées emprisonnées dans l'éponge et que le cinglage n'a pas entièrement expulsées. M. Snelus ne donne pas d'analyse de fer marchand, mais il a cherché à déterminer la quantité de

scorie contenue dans le fer puddlé, soit en broyant finement la limaille, la tamisant et considérant le résidu laissé sur le tamis comme du fer à peu près exempt de scorie, soit, dans le cas où le garnissage contenait de l'ilménite, en dosant l'acide titanique du fer, et le regardant comme provenant tout entier de la scorie, dont l'analyse est faite à part. Il a obtenu ainsi les nombres qui figurent dans les tableaux à la ligne intitulée « supposé dans le fer » ; ceux qui sont relatifs aux fontes du Staffordshire et de Dowlais ont été déterminés par la première méthode, les autres par la deuxième. On remarquera les 0,20 de phosphore trouvés dans le fer provenant de la fonte Crystal pig (qui en tenait 2,18 p. 100) ; cette teneur, déterminée par le tamisage, est un maximum.

Les commissaires ont complété leurs recherches en fabriquant du fer fini avec des barres puddlées provenant des diverses fontes qu'ils étudiaient. Ils ont fait de la tôle et des rails avec toutes les fontes (sauf le Crystal pig), et du fer rond pour fil de fer avec les meilleures sortes. Tout s'est bien laminé, sauf quelques rails provenant de fontes blanches. Quant au fer puddlé provenant de la fonte Crystal pig, il n'a été essayé que pour rails; on a obtenu des têtes bien faites, mais le pied venait mal; il était un peu cassant à chaud. On a eu de très-bons rails en formant le pied de fer n° 2. M. Snelus considère ce résultat comme satisfaisant pour une fonte aussi mauvaise.

La scorie est un peu plus siliceuse que dans le puddlage ordinaire; quand le garnissage est formé d'ilménite, une partie de la silice est remplacée par de l'acide titanique. La teneur en acide phosphorique est forte ; elle l'est d'autant plus, cela va sans dire, que la fonte employée est plus phosphoreuse. Voici quelques nombres relatifs aux différentes scories, prises au moment de la coulée :

P. 100	STAFFORDSHIRE.	DERBYSHIRE.	CLEVELAND.	DOWLAIS.	
				Tin plate.	Crystal pig.
Silice.	15,75	17,57	21,54	17,29	20,49
Acide titanique. . . .	10,89	12,40	»	»	»
Soufre.	0,36	0,25	0,39	0,29	0,35
Acide phosphorique.	0,93	3,97	2,35	1,13	4,22

Rendement. — Ainsi la commission a constaté que le four Danks donne une bonne épuration du fer. Elle a vérifié aussi, et avec le plus grand soin, cette assertion de M. Danks, surprenante au premier abord, que le rendement en fer est constamment et notablement supérieur à la quantité de fonte chargée. Cela tient à ce qu'une partie de l'oxyde qui forme le garnissage est réduit par le carbone, le silicium, etc., de la fonte. Non seulement le poids du fer puddlé obtenu, et cinglé au squeezer, puis au laminoir, dépasse celui de la fonte, mais il en est de même, au moins pour les fontes les plus pures, du poids de fer fini, à l'état de tôle ou de rails. Voici les nombres correspondant à 1.000 de fer puddlé :

		POIDS de fonte consommé.	POIDS de fer fini obtenu.	
			Tôle (rognures incluses).	Rails (bouts inclus).
Fontes grises.	Staffordshire.	916	939	927
	Derbyshire.	912	930	928
	Dowlais (Tin plate).	921	943	926
	Cleveland.	945	940	930
Fontes blanches.	Dowlais (Bar pig.).	993	903	930
	Dowlais (Crystal pig.).	995	»	914

Ainsi on a pu obtenir une tonne de tôle avec 976 kilog. de fonte, après toutes les pertes subies dans les réchauffages, etc. Pour la fonte blanche, il y a un certain déchet, mais bien inférieur encore à celui qui se produit dans le procédé ordinaire. Cette différence peut tenir, en partie à ce fait que le rendement augmente avec la température à

laquelle on opère, en partie à l'absence de scorie dans les charges de fonte blanche.

Voici la balance des matières entrées et sorties, pour cinq postes consécutifs d'un four, ou trente-six charges, comprenant des fontes des diverses sortes :

Pour 1.000 de fer puddlé, on a :

MATIÈRES ENTRÉES.				MATIÈRES SORTIES.			
	Poids.	Teneur en fer p. 100.	Teneur en fer totale.		Poids.	Teneur en fer p. 100.	Teneur en fer totale.
Minerai. . .	242	54,7	133	Scorie coulée dans l'opération	244	50	122
Scories. . .	346	59	173	Scorie expulsée au cinglage. .	187	50	93
Rognures. .	19	100	19	Scorie laissée dans les barres.	50	50	25
Fonte. . . .	935	94	879	Barres.	1000	95	950
Total. . .	1542	»	1204	Total.	1281	»	1190

On admet que les loupes perdent au cinglage, en moyenne, 54 kilog. chacune, et que les barres de fer puddlé contiennent encore 5 p. 100 de scorie. On trouve alors que 7,5 p. 100 du fer des barres provient du garnissage, c'est-à-dire, en définitive, de minerai directement réduit dans le four rotatif à l'état de fer malléable. C'est peu sans doute, mais c'est déjà un résultat au moins curieux.

Frais. — La production d'un four est plus grande que celle du four à puddler ordinaire. A Cincinnati, on passe par poste de douze heures sept ou huit charges de 288 kilog. de fonte chacune ; la moyenne des cinq postes cités plus haut est de 1.940 kilog. par poste.

Le personnel est de deux hommes par four, un maître puddleur et un aide. Il faut en outre un manœuvre par deux fours, pour emmener la scorie, aider au chargement, et faire marcher la grue qui supporte les outils. Enfin, il faut deux hommes pour mener les loupes au squeezer, et de là au four à réchauffer ; un manœuvre dirige le marteau à vapeur horizontal qui fait partie du squeezer. Un squeezer suffit pour douze fours rotatifs, ce qui donnerait pour l'a-

telier, trente-trois hommes par poste (soit 1j,4 par tonne de fonte); il faudrait y ajouter le personnel du train de puddlage. Le travail des puddleurs est bien moins pénible que dans le procédé ordinaire, et les hommes l'apprennent bien plus vite. Ainsi, à Cincinnati, la moitié du personnel se compose d'hommes qui n'avaient jamais puddlé; il a suffi d'un mois pour les former, et c'est parmi eux que se trouvent les ouvriers les plus habiles de l'atelier.

La consommation de combustible s'est élevée, en moyenne, pour le puddlage, à 1.100 kilog. par tonne de fer puddlé. Le réchauffage exige 250 kilog.; on y passe 16 tonnes par poste et par four. Une partie du charbon employé était de la houille fort inférieure (Hocking Valley), le reste de bonne houille (Pittsburgh).

La consommation en minerai, rognures, scories, pour le garnissage, par tonne de fer puddlé, a été la suivante :

	kilog.
Minerai.	242
Rognures.	19
Scories du squeezer.	346

Elle varie beaucoup, suivant la qualité du minerai, la nature de la fonte et la conduite de l'opération.

Les réparations ne vont pas loin, d'après les observations faites durant trois semaines par les commissaires. Ils les regardent comme bien moins coûteuses que dans le procédé actuel.

Quant aux frais d'établissement, on verra tout à l'heure qu'ils diffèrent très-peu de ceux d'une forge ordinaire.

Améliorations possibles. — Suivant M. Danks et la commission, on pourrait augmenter le rendement et diminuer la main-d'œuvre, en portant la charge à 500 kilog.

Un autre perfectionnement, plus important encore, serait de charger la fonte préalablement fondue. On a vu, en effet, que la fusion exige quarante-cinq minutes en moyenne, le reste de l'opération trente minutes seulement.

On pourrait donc augmenter beaucoup la production du four et obtenir une grande économie de combustible, en fondant le métal dans un cubilot et ne laissant à faire au four rotatif que le puddlage. M. Snelus propose même d'éviter la refonte, en prenant la fonte liquide au haut-fourneau (comme on le fait à Terrenoire et ailleurs dans la fabrication de l'acier Bessemer). Un petit nombre de fours Danks, trois ou quatre au plus, suffiraient pour desservir chaque haut-fourneau.

Comparaison du procédé Danks et du puddlage ordinaire. — Le rapport de M. Jones est consacré à l'étude de ce point. Voici comment il évalue les frais d'établissement dans ces deux cas, pour une installation capable de livrer 600 tonnes de barres puddlées par semaine. Les chiffres indiqués supposent la fonte à 62f,50 la tonne, la houille menue à 6f,85, la main-d'œuvre, etc., à un prix correspondant, hypothèses qui sont maintenant (août 1872) très-éloignées de la vérité, dans le Cleveland comme ailleurs.

FORGE ORDINAIRE.	francs.
50 fours à puddler	153.000
3 marteaux-pilons	76.500
1 train de puddlage	30.600
1 machine de forge	51.000
30 chaudières verticales	153.000
Tuyautage et valves	51.000
Hangar	102.000
Chemins de fer	38.250
6 pompes, réservoir, etc.	38.250
2 broyeurs	15.300
Bascules, etc.	12.750
Plaques de dallage, etc.	25.500
Conduites de gaz, outillage, etc.	38.250
Petite forge, écurie, magasin	51.000
Total	836.400

FORGE DANKS.	francs.
12 fours rotatifs	153.000
1 squeezer et sa machine	25.500
3 cubilots et leurs accessoires	51.000
3 marteaux-pilons	76.500
3 fours à réchauffer	17.850
1 train de puddlage	30.600
1 machine de forge	51.000
12 chaudières pour les fours rotatifs	61.200
4 chaudières Cornwall pour allumer	33.150
3 chaudières pour les fours à réchauffer	20.400
Tuyautage et valves	30.600
Hangar	102.000
Chemins de fer	38.250
Pompes, réservoir, etc.	38.250
2 broyeurs	15.300
Bascules, etc.	12.750
Plaques de dallage, etc.	25.500
Conduites de gaz, outillage, etc.	38.250
Petite forge, écurie, magasin	51.000
Total	872.100

La différence entre ces deux chiffres est tout à fait de l'ordre des variations qu'ils peuvent subir tous les deux suivant les circonstances locales et le goût de l'ingénieur.

M. Jones compare ensuite le prix de revient d'une tonne de fer puddlé obtenu par le procédé actuel, et par le procédé Danks, en supposant qu'on emploie la fonte fondue au cubilot, et que l'on fasse en douze heures dix charges de 500 kilog. Voici les chiffres qu'il donne :

	PRIX de la tonne.	PROCÉDÉ ORDINAIRE.		PROCÉDÉ DANKS.	
		Quantité.	Prix.	Quantité.	Prix.
	francs.	kilog.	francs.	kilog.	francs.
Fonte	63,75	1.100	70,12	950	60,52
Prix de la refonte au cubilot	»	»	»	»	7,50
Houille (puddlage)	6,85	1.200	8,22	750	5,14
Houille (réchauffage)	6,85	»	»	250	1,71
Houille (usages divers)	6,85	200	1,37	200	1,37
Garnissage	26,50	250	6,38	308	7,80
Rognures	63,75	25	1,59	26	1,65
Main-d'œuvre	»	»	20,00	»	10,00
Réparations, frais généraux, etc.	»	»	9,95	»	6,85
Total	»	»	117,03	»	102,54

On voit que le procédé Danks donne une économie de 14^f,50 par tonne de fer puddlé, et que ses principaux avantages sont : 1° la diminution de la main-d'œuvre ; 2° l'augmentation de la production, qui abaisse les frais généraux. La comparaison lui serait bien plus favorable encore, si l'on appliquait les prix actuels, 120 francs pour la fonte, 14 francs pour la houille, par exemple ; on trouverait alors comme prix de revient respectifs 188^f,92 et 166^f,10, soit 22^f,82 de différence. Dans les deux cas, le bénéfice est d'environ 12 p. 100 du prix de revient par la méthode actuelle. Avec le mode de travail employé dans les expériences de Cincinnati (les fourneaux tenus allumés la nuit sans travailler, la fonte chargée à l'état solide et les charges de 300 kilog.), il y a encore aux prix adoptés par M. Jones un gain de 7 francs par tonne de fer puddlé.

La construction du four, les outils et la manœuvre sont bien conçus. Le carneau mobile qui sert de porte se met et s'ôte très-facilement ; grâce à cet ingénieux artifice, on peut opérer le déchargement et le chargement en une ou deux minutes.

Enfin le fer obtenu dans une opération forme une loupe unique, et il est permis d'espérer que, dans bien des cas, il sera possible de la faire servir directement à la fabrication des grosses pièces; on ne passerait plus par le découpage à la cisaille et la formation du paquet, et l'on éviterait les défauts de soudure. On peut seulement craindre que l'expulsion des scories, lors du cinglage, ne soit moins complète à cause de la grosseur de la loupe.

Ainsi le four Danks résout la question du puddlage mécanique, en ce sens qu'il le réalise économiquement; il ne demande ni beaucoup de force ni une longue pratique; il ne présente plus de danger pour la santé. Il améliore la qualité du métal, ce qui le rend particulièrement avantageux pour le traitement des fontes inférieures, obtenues avec des minerais pauvres et impurs, des scories, etc. Enfin il abaisse sensiblement le prix de revient du fer puddlé. Sans doute, quelque grands que soient ces avantages, le nouvel appareil ne va pas supplanter immédiatement l'ancien; les maîtres de forges anglais ne songent pas à jeter par terre leurs installations pour élever à leur place des fours rotatifs; mais il est probable que d'ici à peu de mois, un certain nombre d'entre eux, comme MM. Hopkins et Gilkes, de Middlesborough, en auront ajouté quelques-uns à leur matériel; ils pourront ainsi confirmer et développer les résultats observés à Cincinnati, et, s'ils sont satisfaisants, substituer petit à petit des fours Danks aux fours à puddler actuels. Ce succès, s'il se réalise, sera dû pour une large part aux efforts et à l'initiative de l'*Iron and Steel Institute*.

EXPLICATION DES FIGURES.

Échelle des *fig.* 1 et 2, Pl. V; 1, 2 et 3, Pl. VI : 0^m,04 pour 1 mètre.

Pl. V. *Fig.* 1. *Four rotatif Danks.* — *Coupe longitudinale.*
Fig.* 2. — *Coupe transversale.
Pl. VI. *Fig.* 1. — *Vue de l'extrémité.*

- **A. Chauffe.**
- ***a.* Tuyaux d'arrivée de l'air.**
- **B. Chambre tournante.**
- ***b.* Cylindres formant supports.**
- ***b'*. Roue dentée.**
- ***b''*. Trou de coulée des scories.**
- **C. Pièce mobile.**
- ***c.* Regard.**
- ***c'*. Tiges de suspension.**
- ***c''*. Tuyaux d'arrivée de l'eau.**
- **D. Rampant fixe.**
- **E. Cheminée.**

***Fig.* 2. Fourche à décharger les loupes.**

***Fig.* 3. *Squeezer.* — Vue de l'extrémité.**

- **A. Cylindres cannelés.**
- **B. Came.**
- **C. Tête dn marteau horizontal.**

DU MOUVEMENT VIBRATOIRE

D'UNE LAME CIRCULAIRE A SECTION CONSTANTE.

Par M. H. RÉSAL.

En cherchant à déterminer les tensions élastiques développées par le serrage des bandages des roues du matériel des chemins de fer, j'ai été conduit en 1859 (*Ann. des mines t.* XVI) à poser, relativement à l'équilibre d'élasticité des pièces circulaires, une équation différentielle linéaire qui permet de résoudre très-rapidement les questions qui se rapportent aux pièces de cette nature, et dont, dernièrement encore (*Ann. des Mines*, 1872), j'ai fait l'application pour établir les conditions de résistance des volants.

Dans ce qui suit, je me propose de faire usage de l'équation dont il s'agit pour arriver aux équations, aux différentielles partielles du mouvement vibratoire d'une lame circulaire élastique d'une section uniforme.

Soient (Pl. VI, *fig.* 5)

O le centre de la circonférence formée par la fibre moyenne ;

ρ_0 son rayon ;

ω la section de la pièce ;

I Son moment d'inertie par rapport à la perpendiculaire au plan de la circonférence passant par son centre de gravité ;

E, ϖ le coefficient d'élasticité et le poids spécifique de la matière ;

a, a' deux points infiniment voisins de la fibre moyenne à l'état naturel ;

$\theta, \theta + d\theta$ les angles que forment les rayons Oa, Oa' avec la direction Ox d'un diamètre quelconque;

$r = \rho_0(1+u)$, $\theta + w$ ce que deviennent les rayons Oa, et l'angle θ, u et w étant supposés assez petits pour que l'on puisse négliger leurs secondes puissances et celles de leurs dérivées;

$$-\mathrm{N},\ \mathrm{N} + \frac{d\mathrm{N}}{d\theta}d\theta, \quad -\mathrm{T},\ \mathrm{T} + \frac{d\mathrm{T}}{d\theta}d\theta,$$

les composantes élastiques développées suivant le rayon et sa perpendiculaire en a et a' sur l'élément de volume limité par les sections normales en ces deux points;

$$\mathfrak{M}, \quad -\left(\mathfrak{M} + \frac{d\mathfrak{M}}{d\theta}d\theta\right)$$

les moments des couples élastiques dans ces sections;

$$\mathrm{X}\frac{\varpi}{g}\omega\rho_0\,d\theta, \quad \mathrm{Y}\frac{\varpi}{g}\omega\rho_0\,d\theta$$

les composantes de la force qui sollicite l'élément ci-dessus défini suivant le rayon et la tangeante $a\,\omega$ parallèle au centre de gravité g, milieu de $a\,a'$.

Exprimons les conditions d'équilibre de l'élément de volume dont nous venons de parler; en projetant sur les directions de ces deux composantes, on trouve :

$$\frac{d\mathrm{N}}{d\theta}d\theta - \mathrm{T}d\theta + \mathrm{X}\frac{\varpi}{g}\omega\rho_0 d\theta = 0,$$
$$\frac{d\mathrm{T}}{d\theta}d\theta + \mathrm{N}d\theta + \mathrm{Y}\frac{\varpi}{g}\omega\rho_0 d\theta = 0;$$

et en prenant les moments par rapport au point a

$$-\left(\mathfrak{M} - \mathfrak{M} - \frac{d\mathfrak{M}}{d\theta}d\theta\right) - \frac{\mathrm{N}\rho_0}{2}d\theta = 0;$$

d'où

$$(1)\qquad \left\{\begin{aligned} &\frac{dN}{d\theta} - T + X\frac{\varpi}{g}\omega\theta_0 = 0,\\ &\frac{dT}{d\theta} + N + Y\frac{\varpi}{g}\omega\rho_0 = 0,\\ &\frac{d\mathfrak{M}}{d\theta} = \frac{N\rho_0}{2}.\end{aligned}\right.$$

Différentiant les deux dernières équations par rapport à θ et éléminant N au moyen de la première, on obtient :

$$(2)\qquad \left\{\begin{aligned} &\frac{d^2T}{d\theta^2} + T + \frac{\varpi}{g}\omega\rho_0\left(\frac{dY}{d\theta} - X\right) = 0,\\ &\frac{d^2\mathfrak{M}}{d\theta^2} = \frac{\rho_0}{2}\left(T - X\frac{\varpi}{g}\omega\rho_0\right).\end{aligned}\right.$$

Soit λ la dilatation de la fibre moyenne, on a :

$$\begin{aligned}\rho_0(1+\lambda)\,d\theta &= \sqrt{\rho_0^2(1+u)^2\,[d(\theta+w)]^2 + \rho_0^2du^2}\\ &= \rho_0\left(1 + u + \frac{dw}{d\theta}\right)d\theta,\end{aligned}$$

d'où

$$\lambda = \frac{dw}{d\theta} + u,$$

et

$$(3)\qquad T = E\omega\lambda = E\omega\left(\frac{dw}{d\theta} + u\right).$$

D'autre part, ρ étant le rayon de courbure de la pièce déformée, ont sait que (*)

$$\mathfrak{M} = EI\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) = -\frac{EI}{\rho_0}\left(\frac{d^2u}{d\theta^2} + u\right).$$

(*) Voir le premier des mémoires cités plus haut.

De plus on a dans le cas actuel :

$$X = -\rho_0 \frac{d^2u}{dt^2}, \quad Y = -\rho_0 \frac{d^2w}{dt^2};$$

par suite :

$$(4) \begin{cases} \frac{d^2}{d\theta^2}\left(\frac{dw}{d\theta}+u\right)+\frac{dw}{d\theta}+u-\frac{\varpi}{g}\frac{\rho_0^2}{E}\frac{d^2}{dt^2}\left(\frac{dw}{d\theta}-u\right)=0, \\ \frac{EI}{\rho_0}\frac{d^2}{d\theta^2}\left(\frac{d^2u}{d\theta^2}+u\right)+\frac{\rho^3_0}{2}\frac{\varpi}{g}\omega\frac{d^2u}{dt^2}+\frac{\rho_0}{2}E\omega\left(\frac{dw}{d\theta}+u\right)=0. \end{cases}$$

Remarque. — Si l'on pose $\rho_0 d\theta = dx$, $\rho_0 u, = y$, $\rho_0 w = z$, puis, que l'on suppose $\rho_0 = \infty$, on trouve :

$$\frac{d^3z}{dx^3} - \frac{\varpi}{gE}\frac{d^4z}{dxdt^2} = 0,$$

$$EI\frac{d^4y}{dx^4} + \frac{\varpi}{g}\omega\frac{d^2y}{dt^2} = 0.$$

La première de ces équations n'est autre chose que a dérivée par rapport à x de l'équation connue des vibrations longitudinales d'un prisme, et la seconde, l'équation des vibrations transversale d'une lame élastique.

Revenons à notre sujet : les équations (4) deviennent incompatibles lorsque l'on y suppose $w = 0$, $u = 0$; d'où il suit qu'une vibration longitudinale ne peut pas se produire sans donner lieu à des vibrations transversales et *vice versâ.*

En posant

$$(5) \begin{cases} \mu^2 = \frac{\varpi}{g}\frac{\rho_0^2}{E}, \\ \nu^2 = \frac{\varpi}{g}\frac{\rho_0^4\omega}{2EI}, \\ \eta^2 = \frac{\rho_0^2\omega}{EI}, \end{cases}$$

et

$$(6) \qquad \frac{dw}{d\theta} + u = z,$$

les équations (4) deviennent

$$(7)\qquad \begin{cases} \dfrac{d^2z}{d\theta^2}+z-\mu^2\dfrac{d^2}{dt^2}(z-2u)=0, \\ \dfrac{d^2}{d\theta^2}\left(\dfrac{d^2u}{d\theta^2}+u\right)+\nu^2\dfrac{d^2u}{dt^2}+\eta^2z=0. \end{cases}$$

Supposons que la pièce soit encastrée en son milieu et que son angle au centre soit $2\theta_1$; on devra avoir

$$(8)\qquad u=0,\quad \frac{du}{d\theta}=0,\quad \text{pour}\quad \theta=0,$$

et

$$T=0,\quad N=0\quad \text{pour}\quad \theta=\theta_1,$$

ou

$$z=0,\quad \frac{dz}{d\theta}-\mu^2\frac{d^2w}{d\theta^2}=0\quad \text{pour}\quad \theta=\theta_1.$$

Mais on peut faire disparaître $\dfrac{d^2w}{d\theta^2}$ de la dernière de ces conditions. En effet, si l'on élimine N entre les deux dernières des équations (1) on trouve :

$$\frac{d\mathfrak{M}}{d\theta}+\frac{\rho_0}{2}\left(\frac{dT}{d\theta}+\frac{\varpi}{g}\rho\omega Y\right)=0,$$

ou

$$\frac{d}{d\theta}\left(\frac{d^2u}{d\theta^2}+u\right)+\nu^2\frac{d^2w}{d\theta^2}-\eta^2=0;$$

de sorte qu'il faut que l'on ait,

$$(9)\qquad z=0,\quad \frac{dz}{d\theta}+\frac{\mu^2}{\nu^2}\frac{d}{d\theta}\left(\frac{d^2u}{d\theta^2}+u\right)=0\quad \text{pour}\quad \theta=\theta_1.$$

Posant

$$(10)\qquad u=U\cos n(t-\alpha),\qquad z=Z\cos n(t-\alpha),$$

n et α étant des constantes, et U, Z des fonctions de θ seulement, il vient :

$$\frac{d^2Z}{d\theta^2} + Z\,\mu^2 n^2 (Z - 2U) = 0,$$

$$\frac{d^2}{d\theta^2}\left(\frac{d^2U}{d\theta^2} + U\right) - \nu^2 n^2 U + \eta_1^2 Z = 0.$$

Ces équations sont satisfaites par des fonctions de la forme,

$$U = A \sin m(\theta - \theta_1),$$
$$Z = B \sin m(\theta - \theta_1),$$

A, B, m étant des constantes, valeurs qui satisfont aux premières des conditions (8) et (9) en prenant

$$m = \frac{i\pi}{\theta_1};$$

i étant un nombre entier. En substituant, on trouve

$$(11)\qquad \left\{\begin{array}{l} B(1 - m^2 + \mu n^2) - 2\mu n^2 A = 0,\\ A(m^4 - m^2 - \nu^2 n^2) + \eta^2 B = 0;\end{array}\right.$$

d'où

$$-\frac{\eta_1^2}{m^4 - m^2 - n^2\nu^2} = \frac{1 - m^2 + \mu^2 n^2}{2\mu^2 n^2},$$

ou

$$(12)\qquad \left\{\begin{array}{l} \mu^2 n^4 - [\nu^2(m^2 - 1) + \mu^2 m^2 (m^2 - 1) + 2\mu^2\eta^2]\, n^2\\ \qquad + m^2(m^2 - 1)^2 = 0.\end{array}\right.$$

En considérant maintenant n comme une inconnue, on ne devra donner à m ou i que des valeurs pour lesquelles n sera réel.

Pour les valeurs positives n' et n'' de n correspondant à une certaine valeur de m ou de i, B s'exprimant en fonc-

tion de A, au moyen des équations (8), on aura deux arbitraires A′ et A″, que l'on pourra déterminer par exemple de manière à satisfaire aux secondes des conditions (8) et (9) ; mais on n'obtiendra en faisant la somme des éléments (10) qu'une intégrale particulière des équitations (7) correspondant à un état de vibration initial particulier de la lame.

EXPLICATION DE LA FIGURE.

Pl. VI. *Fig.* 5. — Lame circulaire vibrante.

a, a'. Deux points infiniment voisins de la fibre moyenne.

T, T + dT. Forces élastiques longitudinales dans les sections faites en a, a'.

N, N + dN. Forces de glissement dans les mêmes sections.

$\frac{\varpi}{g}\,\omega\rho_0 d\theta$. Masses de l'élément de volume qu'elles déterminent.

RELATION

QUI EXISTE ENTRE LES INCLINAISONS DES DIVERSES BRANCHES D'UNE MÊME COUCHE DE HOUILLE.

Par M. Em. DORMOY, ingénieur des mines.

Les couches que l'on exploite dans les mines de houille sont loin d'avoir conservé partout la position horizontale qu'elles possédaient au moment de leur dépôt. Dans les bassins houillers de Valenciennes et de la Belgique, elles ont été repliées sur elle-mêmes par des soulèvements, et forment des *dressants* et des *plateures*, qui se succèdent en profondeur. On exploite quelquefois, dans une même couche, jusqu'à trois ou quatre dressants et autant de plateures, dont on représente l'allure au moyen de diverses opérations graphiques qui ont pour point de départ les plans levés dans la mine.

Pour représenter exactement les diverses branches de couches qui se coupent dans l'espace, il faudrait employer deux projections combinées, comme celles dont on se sert en géométrie descriptive ; mais ce procédé donnerait lieu à des dessins trop compliqués pour des plans de mines, et il n'est pas en usage. Les projections partielles dont on se sert, tout en indiquant à peu près, à un œil exercé, l'allure générale des couches, ont le défaut de ne pas mettre en évidence plusieurs de leurs éléments, que l'on peut avoir besoin de déterminer. A défaut de dessins graphiques, la trigonométrie sphérique peut fournir un moyen de calculer assez simplement les divers éléments que l'on ne trouve pas sur les plans. Nous allons indiquer les relations

qui existent entre les inclinaisons des diverses branches de couches, relations qui pourront souvent être appliquées par les directeurs d'exploitations, soit pour se guider dans leurs recherches, soit pour compléter et vérifier les plans de mines.

Donnons d'abord quelques définitions.

On appelle *mur* d'une couche la roche géologique qui, à l'époque du dépôt houiller, se trouvait au-dessous d'elle, et *toit* la roche qui se trouvait en dessus. Les mineurs distinguent parfaitement le toit du mur. Le toit est formé d'une roche feuilletée noirâtre, et présente beaucoup d'empreintes de roches entières, de fougères, dont les feuilles et tous les détails sont souvent parfaitement conservés; il contient quelquefois de petits galets très-durs. Le mur est plus compacte, plus pâle, plus dur à travailler; il contient rarement des empreintes conservées, mais on trouve dans sa masse des débris de tiges, de racines, hachés et amalgamés dans tous les sens. Le toit se débite par tranches, le mur se brise par morceaux. Le toit est quelquefois formé de *querelles* (*), jamais le mur. Il y a seulement, au sujet de ces dénominations, une certaine amphibologie qu'il est bon de faire connaître. Ainsi à Saint-Waast, Denain, Douchy, Aniche et Azincourt, dans le bassin de Valenciennes, les exploitations sont tombées d'abord sur des dressants; et ces branches forment l'allure principale des couches. Aussi les ouvriers les ont prises pour point de départ, et ont nommé toit la roche qui est au-dessus dans le dressant,

(*) Les mineurs nomment roc l'argile schisteuse du terrain houiller, et *querelles* les grès. Ces derniers sont beaucoup plus durs à travailler, et c'est sans doute de là que leur nom tire son étymologie; car lorsqu'un groupe d'ouvriers a entrepris à forfait le creusement d'une galerie à travers bancs, si l'on y rencontre un banc de grès très-dur sur lequel on n'avait pas compté, il peut en résulter des querelles, soit entre les ouvriers, soit entre eux et l'administration. Aujourd'hui, quand on a à traverser un banc de grès important, on augmente de moitié les prix convenus.

c'est-à-dire la roche du mur géologique ; mais cette locution doit être réformée.

Les couches de houille ont été repliées sur elles-mêmes par des soulèvements, de manière à former une série de dressants et de plateures. La couche est dite en *dressant* ou en *droit*, lorsque le mur se trouve ramené au-dessus de la couche ; et en *plat* ou en *plateure*, lorsque le mur est resté au-dessous, c'est-à-dire dans la position naturelle. Cette définition doit être conservée, quelle que soit l'inclinaison de l'une ou de l'autre de ces branches.

Si l'on suppose une couche de houille, possédant une régularité parfaite, ses dressants et ses plateures ont tous la forme plane ; tous les dressants sont parallèles entre eux, et toutes les plateures de même. Les intersections des dressants sont des lignes parallèles entre elles, qui se nomment *crochons* ou *ennoyages*.

On nomme *affleurements* la trace des couches de houille, soit en dressant, soit en plateure, sur la surface du terrain houiller. Si les crochons étaient horizontaux, ils ne viendraient jamais affleurer, et il n'y aurait dans chaque couche qu'une branche, ou deux tout au plus, qui viendraient former leur trace en affleurement. Mais comme les crochons sont toujours inclinés, toutes les branches viennent successivement affleurer, et dessiner des traces en forme de zigzags, composés de deux séries de lignes, parallèles entre elles chaque série.

Dans la pratique, les veines de houille sont certainement loin de présenter cette régularité parfaite; cependant les accidents qui les affectent ne sont pas capricieux, et obéissent à des lois qui permettent d'en déterminer l'influence. Ou bien ce sont des amincissements de veines, brouillages, perturbations locales n'affectant qu'une couche et non le faisceau entier, et alors on peut les négliger ; ou bien ce sont des plis recourbés qui dévient tout le faisceau, mais qui ont trop peu d'importance pour recevoir un nom spé-

cial ; quelquefois on les appelle *faux plats* quand ils affectent un dressant, *faux droits* quand ils se trouvent dans une plateure : dans ce cas, on doit les remplacer par un plan idéal qui en supprime les courbures, et traiter ce plan par les méthodes qui vont suivre, comme si c'était un plat ou un dressant véritable. Ou bien enfin, les accidents consistent en failles importantes qui rejettent tout le faisceau de couches d'une quantité notable, en hauteur et en affleurement, et souvent même modifient son inclinaison et sa direction. Dans ce cas il faut rechercher, par les méthodes usitées dans l'art des mines, ce qu'est devenue la couche après son rejet.

On tient généralement, dans toutes les exploitations, trois espèces de plans, les plans par veines, les coupes verticales, et les plans horizontaux.

Le *plan par veine* est le plan fondamental de l'exploitation; ainsi que son nom l'indique, il y en a un pour chaque couche exploitée. Ce plan est la projection, sur un plan horizontal, de toutes les galeries que le mineur pratique dans la veine. Comme les galeries d'exploitation sont presque toutes horizontales, elles se projettent en véritable grandeur et direction ; on n'a donc qu'à reporter sur ce plan les éléments fournis chaque mois par les levers de plans souterrains. La couche est ainsi représentée comme une véritable surface topographique, par des courbes de niveau cotées. Seulement ce plan se complique singulièrement lorsque la couche présente un dressant et une plateure, parce que ces deux branches venant se superposer dans le sens vertical, leurs projections viennent se mêler les unes dans les autres. Aussi ces plans ne sont-ils employés que pour guider l'exploitation d'une couche et même d'une branche de couche considérée en particulier, pour se rendre compte de l'allure de la partie où l'on travaille. Mais on ne pourrait pas s'en servir pour représenter une couche complète, avec plusieurs dressants et plusieurs plateures.

Pour représenter plusieurs branches à la fois, et pour étudier leur mode de succession dans le sens vertical, on se sert de *coupes ;* on en établit une pour chaque puits. La coupe d'un puits est une coupe verticale à travers le terrain, faite par un plan perpendiculaire à la direction des couches. Comme chaque couche a deux directions bien distinctes, celle des dressants et celle des plateures, il serait utile de tenir à la fois les deux coupes, mais ce n'est pas l'habitude. On ne fait pour chaque puits que la coupe perpendiculaire à la direction de la branche principale, qui est généralement le dressant. Cette coupe représente parfaitement la succession des veines les unes aux autres, les épaisseurs de terrain houiller qui les séparent, ainsi que la nature des bancs de roc ou de querelle. Elle indique aussi l'inclinaison du dressant sur la plan horizontal, qui se trouve égale à l'inclinaison à l'horizon de la ligne de coupe de ce dressant ; mais elle donne une fausse idée de l'inclinaison de la plateure. La plateure se trouve représentée dans la coupe par son intersection, qui est une ligne plus ou moins inclinée; mais l'inclinaison de cette ligne n'est pas égale à celle de la plateure elle-même sur le plan horizontal, puisque le plan de coupe n'est pas perpendiculaire au plan de la plateure (sans quoi, comme il l'est déjà au plan du dressant, il le serait également au crochon, et ne serait plus vertical).

Cette inclinaison à l'horizon de la ligne A, qui, dans la coupe, représente la plateure, est toujours plus petite que la véritable inclinaison de la platenre. En effet, lorsque deux plans (le plan vertical de coupe et la plateure) se rencontrent, si par un point B de la ligne d'intersection A on mène une perpendiculaire C à cette ligne dans le premier plan (qui sera la verticale), toute droite menée par le point B dans le second plan fera avec la verticale C un angle plus grand que l'angle des deux plans, ou ce qui revient au même, fera avec l'horizontale un angle plus petit que

l'inclinaison du second plan sur le plan horizontal. Donc la ligne de coupe de la plateure est toujours moins inclinée à l'horizon que la plateure elle-même. Ce ne serait que dans le cas particulier où la plateure aurait exactement la même direction que le dressant, c'est-à-dire où le crochon serait horizontal, ce qui n'arrive jamais, que les deux inclinaisons deviendraient égales, et que la coupe offrirait une représentation fidèle des plateures comme des dressants.

La coupe du puits n'indique rien non plus au sujet de l'inclinaison du crochon, élément si essentiel dans les recherches de mines; car chaque crochon n'y est représenté que par le point qui forme sa trace sur le plan vertical de coupe.

Enfin les *plans horizontaux* sont des coupes faites dans le terrain houiller par des plans horizontaux, passant à différentes profondeurs : chaque couche et chaque branche de couche vient y marquer sa trace. Le plus souvent, on ne tient qu'une seule de ces coupes, celle qui passe à la surface même du terrain houiller; les traces des veines ne sont alors pas autre chose que leurs affleurements, qui dessinent une série de zigzags, à branches parallèles de deux en deux. Ce mode de représentation donne encore une fausse idée de l'angle que font entre eux la plateure et le dressant dans l'espace : l'angle des affleurements est tantôt plus grand, tantôt plus petit que l'angle des deux plans; mais il ne lui est pas égal, puisque le plan horizontal de coupe n'est pas perpendiculaire au crochon, intersection des deux plans. Quant au crochon lui-même, les coupes horizontales ne donnent aucune idée de son inclinaison, puisqu'il n'y est représenté que par un point, comme dans les coupes verticales.

Ainsi le mode de représentation des couches et des galeries, en usage dans les exploitations de mines, est incomplet. Il n'indique ni l'inclinaison des plateures, ni l'angle des plateures avec les dressants, ni l'inclinaison

des crochons. Tous ces éléments sont cependant fort utiles lorsqu'une exploitation commence, et que l'on en est encore, dans une région ou dans l'autre, à faire des conjectures pour savoir si telle branche rencontrée à un certain niveau appartient au premier, second ou troisième dressant, à la première, seconde ou troisième plateure. Ils ont aussi leur utilité pour relier les puits d'extraction entre eux, pour déterminer si telle couche exploitée dans un puits sous un certain nom ne serait pas la même que telle autre exploitée dans un autre puits sous un autre nom, pour s'édifier sur les chances de réussite que peut présenter un puits nouveau projeté, pour en déterminer l'emplacement de la manière la plus profitable.

L'imperfection du mode de représentation par plans est telle, qu'il y aurait certainement intérêt, dans bien des cas, à représenter une région de la mine en cours d'exploitation, par une figure à trois dimensions, qui serait la reproduction à une petite échelle de la masse intérieure du terrain houiller. Cet intérieur serait représenté par une chambre de dimensions convenables; les puits et les galeries y seraient figurés par des tiges de fer, et chaque branche de couche y serait reportée, au moyen d'une feuille de verre ou par un grillage en fil de laiton, auquel on donnerait l'inclinaison et la direction relevées dans la mine, et sur lequel on ferait figurer les brouillages, amincissements de couches, etc. On verrait là l'angle exact des plateures avec les dressants, les inclinaisons de toutes les branches et de leurs crochons, etc. On se rendrait compte de l'endroit où telle ou telle couche peut ou ne peut pas passer, soit en dressant, soit en plateure; et il est permis de croire que l'on s'épargnerait quelquefois ainsi des travaux souterrains mal conçus, dont la dépense est hors de proportion avec celle qu'entraînerait le mode de représentation proposé ici.

A défaut de ce mode de figuration complète de la mine,

nous allons indiquer ici quelques relations qui existent entre les inclinaisons des dressants et des plateures, l'angle que font entre eux leurs affleurements, et l'inclinaison du crochon. Ces cinq éléments font partie d'un double angle trièdre, et il suffit d'en connaitre trois pour déterminer les deux autres, au moyen des formules de la trigonométrie sphérique. Tel est l'objet du présent mémoire.

Dans la *fig.* 4, Pl. VI, dressée en perspective, OBLM représente le plan horizontal sur lequel on trace les affleurements des couches; OBA est le plan du dressant d'une couche de houille; OGA, la plateure; leur intersection OA est le crochon, OB est l'affleurement du dressant et OG celui de la plateure. Ainsi le dressant, la plateure et le plan horizontal forment un angle trièdre, dont le sommet est au point O, et dont les trois arêtes sont le crochon et les deux affleurements. Si l'on coupe cet angle trièdre par une sphère ayant pour centre ce sommet O, on détermine un triangle sphérique CDP, dont les six éléments sont :

C, angle ayant son sommet au crochon, angle du dressant et de la plateure;

D, angle ayant son sommet sur le dressant, angle du dressant et du plan horizontal, ou inclinaison de la plateure;

P, angle ayant son sommet sur la plateure, angle de cette branche avec le plan horizontal, ou inclinaison de la plateure ;

DP, angle que font entre eux les affleurements du dressant et de la plateure;

CP, angle du crochon avec l'affleurement de la plateure;

CD, angle du crochon avec l'affleurement du dressant.

Si maintenant on abaisse du point A une perpendiculaire AR sur le plan horizontal, que l'on joigne OR, que l'on appelle H le point où cette droite vient rencontrer le côté DP du triangle sphérique, et que l'on joigne l'arc HC, le plan OAR sera le plan vertical projetant le crochon; et l'angle AOR sera l'angle du crochon avec le plan horizontal, c'est-

à-dire son inclinaison. Cette inclinaison a pour mesure l'arc CH dans le triangle sphérique rectangle CDH.

Les éléments CP et CD du premier triangle, DH et DP du second, ne sont pas utiles à calculer ; mais les cinq autres se présentent à chaque instant dans l'étude des exploitations et des plans de mines, et il sera souvent utile, en connaissant trois, de calculer les deux autres.

Soient c, d, p, les côtés du premier triangle DP, CP, CD, opposés aux angles C, D, P, et i (inclinaison du crochon) le côté CH du triangle rectangle.

Voyons d'abord les relations qui existent entre les six éléments du triangle oblique. Ces relations sont toutes résumées dans les trois formules qui lient un côté avec les trois angles :

$$(1)\qquad \begin{cases} \cos D = -\cos P \cos C + \sin P \sin C \cos d, \\ \cos P = -\cos C \cos D + \sin C \sin D \cos p, \\ \cos C = -\cos D \cos P + \sin D \sin P \cos c. \end{cases}$$

Comme ici les deux éléments d et p ne nous intéressent pas directement, on n'aura à résoudre dans la pratique que les questions dans lesquelles entrent les éléments C, D, P et c. Ces questions forment une première série de problèmes qui ne peuvent présenter que les trois cas suivants :

1° Connaissant les trois angles, calculer le côté.

2° Connaissant un côté et les deux angles adjacents, calculer le troisième angle.

3° Connaissant deux angles et le côté opposé à l'un d'eux, calculer le troisième angle.

Suivant le cas à considérer, on transformera les formules (1) de différentes manières, afin de les rendre calculables par logarithmes, ainsi que nous allons l'indiquer.

PREMIÈRE SÉRIE. — *Premier cas.* — En posant A + B

$+C-180^{\circ}=2S$, les formules (1) se transforment en celles-ci :

$$(2)\qquad \sin\frac{c}{2}=\sqrt{\frac{\sin S\sin(C-S)}{\sin D\sin P}},$$

$$(3)\qquad \cos\frac{c}{2}=\sqrt{\frac{\sin(D-S)\sin(P-S)}{\sin D\sin P}},$$

$$(4)\qquad \tang\frac{c}{2}=\sqrt{\frac{\sin S\sin(C-S)}{\sin(D-S)\sin(P-S)}}\quad (*).$$

Voici un exemple numérique :

On connaît les trois angles, savoir :

L'inclinaison du dressant, $D=50°$;

L'inclinaison de la plateure, $P=158°$;

L'angle de ces deux branches entre elles, $C=35°$.

On cherche le côté C, égal à l'angle que font entre eux les affleurements des dressants et des plateures.

En posant les données numériques, on ne devra pas oublier que certains angles devront être considérés comme aigus, et d'autres comme obtus, afin de satisfaire aux conditions d'existence d'un triangle sphérique. Afin d'éviter toute erreur, il suffira de considérer les trois faces de l'angle trièdre comme ne se prolongeant pas au delà de ses arêtes, et de compter les angles tels qu'ils existent à l'intérieur de ce solide. Ainsi, dans l'exemple choisi, si le dressant fait avec la face horizontale du trièdre un angle de 50 degrés et avec la plateure un angle de 35 degrés, cette plateure viendra former avec la face horizontale un angle qui, à l'intérieur du trièdre, sera obtus. Si donc l'inclinaison de la plateure est connue, d'après les plans de la mine, pour être un angle de 22 degrés, il faudra en prendre ici le supplément et poser, comme nous l'avons fait, $P=158°$. Pour que le triangle sphérique existe, il faudra que la somme des trois angles

(*) Pour vérifier ces transformations, ainsi que les suivantes, on devra se reporter aux traités de trigonométrie sphérique.

soit plus grande que 180 degrés, et que le plus petit augmenté de 180 degrés soit plus grand que la somme des deux autres.

Ces conditions sont remplies dans l'exemple choisi, et l'on trouvera le côté c par la formule :

$$\sin\frac{c}{2}=\sqrt{\frac{\sin 31°\,30'\,\sin 3°\,30'}{\sin 50°\,\sin 158°}},$$

qui, par logarithmes, se résout comme suit :

$$\begin{array}{lll}
\log\sin\ 31°\,30' = \bar{1}.7180851 & & \\
\log\sin\ \ 3°\,30' = \bar{2}.7856753 & & \\
\hline
\qquad\qquad \bar{2}.5037604 \ldots\ldots & \bar{2}.5037604 \\
\log\sin\ 50° = \bar{1}.8842540 & & \\
\log\sin\ 158° = \bar{1}.5735754 & & \\
\hline
\qquad\qquad \bar{1}.4578294 \ldots\ldots & \bar{1}.4578294 \\
\hline
\text{Différence}\ldots\ldots\ldots = & \bar{1}.0459310 \\
\text{Moitié de la différence.} = & \bar{1}.5229655
\end{array}$$

$$\frac{c}{2}=19°\,28'\,31'',$$

$$c=38°\,57'\,02''.$$

Ainsi les affleurements des dressants et des plateures doivent faire entre eux un angle de $38°57'02''$.

Deuxième cas. — On fera usage de trois des analogies de Neper, qui ne sont qu'une transformation des formules (1)

$$(5)\qquad \frac{\tang\dfrac{d+p}{2}}{\tang\dfrac{c}{2}}=\frac{\cos\dfrac{D-P}{2}}{\cos\dfrac{D+P}{2}},$$

$$(6)\qquad \frac{\tang\dfrac{d-p}{2}}{\tang\dfrac{c}{2}}=\frac{\sin\dfrac{D-P}{2}}{\sin\dfrac{D+P}{2}},$$

$$(7) \qquad \operatorname{tang}\frac{D-P}{2}\operatorname{tang}\frac{c}{2}=\frac{\sin\frac{d-p}{2}}{\sin\frac{d+p}{2}}.$$

Voici un exemple numérique :

On connait l'inclinaison du dressant, $D = 70°$, l'inclinaison de la plateure $P = 16°$, et l'angle que font entre eux leurs affleurements, $C = 40°$. On cherche l'angle C, que font entre eux le dressant et la plateure.

Il faut calculer $d+p$ et $d-p$ par les formules (5) et (6), et ensuite C par la formule (7). Il y a toujours une solution, quelles que soient les données.

Le calcul s'effectue comme suit :

$$\operatorname{tang}\frac{d+p}{2}=\frac{\cos 29°}{\cos 43°}\times \operatorname{tang} 20°$$

$$\operatorname{tang}\frac{d-p}{2}=\frac{\sin 29°}{\sin 43°}\times \operatorname{tang} 20°$$

$$\log\cos 29° = \overline{1}.9418\,193$$

$$\log\operatorname{tang} 20° = \overline{1}.5610\,659$$

$$\overline{1}.5028\,852$$

$$\log\cos 43° = \overline{1}.8641\,275$$

$$\log\operatorname{tang}\frac{d+p}{2} = \overline{1}.6387\,577 \qquad \frac{d+p}{2} = 23°\,31'\,19''$$

$$\log\sin 29° = \overline{1}.6855\,712$$

$$\log\operatorname{tang} 20° = \overline{1}.5610\,659$$

$$\overline{1}.2466\,371$$

$$\log\sin 43° = \overline{1}.8337\,833$$

$$\log\operatorname{tang}\frac{d-p}{2} = \overline{1}.4128\,538 \qquad \frac{d-p}{2} = 14°\,30'\,25''$$

$$\operatorname{tang}\frac{c}{2}=\frac{\sin 14°\,30\,25''}{\sin 23°\,31'\,19''\times\operatorname{tang} 29°}$$

$$\log \sin 14^\circ 30' 25'' = \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \bar{1}.3988\,031$$
$$\log \sin 23^\circ 31' 19'' = \bar{1}.6010\,821$$
$$\log \tan 29^\circ = \bar{1}.7437\,520$$
$$\overline{\bar{1}.3448\,341 \ldots \quad \bar{1}.3448\,341}$$
$$\log \operatorname{tang} \frac{c}{2} = 0.0540\,690$$
$$\frac{c}{2} = 48^\circ\, 33'\, 27''$$
$$c = 97^\circ\ 6'\, 54''$$

Ainsi les dressants et les plateures forment entre eux un angle de 97° 6′ 54″.

Troisième cas. — On emploiera la formule suivante :

$$(8) \qquad \sin p = \frac{\sin c \sin \mathrm{P}}{\sin \mathrm{C}}$$

qui donnera p, et l'on calculera ensuite D par l'analogie :

$$(7) \qquad \operatorname{tang} \frac{\mathrm{D}}{2} = \frac{\sin \dfrac{c-p}{2}}{\sin \dfrac{c+p}{2} \operatorname{tang} \dfrac{\mathrm{C}-\mathrm{P}}{2}}.$$

Voici un exemple numérique :

On connait l'inclinaison de la plateure, P = 10°,

L'angle qu'elle fait avec le dressant C = 70°,

L'angle des affleurements de ces deux branches, C = 30°.

On cherche l'inclinaison D du dressant.

Le calcul s'établit comme suit :

$$\sin p = \frac{\sin 30^\circ \sin 10^\circ}{\sin 70^\circ}$$

$$\log \sin 30° = \bar{1}.6989\,700$$
$$\log \sin 10° = \bar{1}.2396\,722$$
$$\bar{2}.9386\,422$$
$$\log \sin 70° = \bar{1}.9729\,858$$
$$\log \sin p = \bar{2}.9666\,564$$

D'où l'on tire pour p deux valeurs supplémentaires, 5° 18′ 49″ et 174° 41′ 11″; mais il ne faut conserver que celle qui rend les deux différences $c-p$ et $C-P$ de même signe. Ici il n'y a donc qu'une solution, qui correspond à $p = 5° \, 18' \, 49''$.

$$\operatorname{tang} \frac{D}{2} = \frac{\sin 24° \, 41' \, 11''}{\sin 35° \, 18' \, 49'' \operatorname{tang} 30''}$$

$$\log \sin 24° \, 41' \, 11'' = \ldots\ldots\ldots \quad \bar{1}.6208\,138$$
$$\log \sin 35° \, 18' \, 49'' = \bar{1}.7619\,665$$
$$\log \operatorname{tang} 30° = \bar{1}.7614\,394$$
$$\bar{1}.5234\,059 \ldots \quad \bar{1}.5234\,059$$
$$\log \operatorname{tang} \frac{D}{2} = 0.1034\,079$$
$$\frac{D}{2} = 51° \, 45' \, 28''$$
$$D = 103° \, 30' \, 56''.$$

Le dressant fait donc avec le plan horizontal, dans le sens de l'intérieur du trièdre, un angle de 103° 30′ 56″, plus grand qu'un angle droit.

Ces trois cas épuisent la série des questions qui peuvent se présenter à propos des éléments du triangle oblique, considéré seul. Lorsqu'on a à faire entrer, soit dans les données, soit dans les inconnues du problème, l'inclinaison i du crochon, il faut considérer en outre le triangle sphé-

rique rectangle CHD, ou, si l'on préfère, le triangle également rectangle CHP.

Représentons par e le côté DH, qui servira de ligne auxiliaire, et par E l'angle opposé DCH. Les trois angles du nouveau triangle CDH seront ainsi : 90°, D et E, et les côtés opposés seront : p, i et e.

L'introduction de l'élément i donnera lieu à deux nouvelles séries de problèmes ; dans l'une, i sera l'inconnue ; dans l'autre, i sera au nombre des données.

Deuxième série. — L'inconnue étant i, les données consisteront nécessairement en trois éléments, angles ou côtés du triangle primitif. On aura ainsi trois cas, qui seront les mêmes que ceux de la première série, et l'on calculera, comme nous l'avons indiqué, le côté p, qui est commun au triangle oblique et au triangle rectangle. Ce dernier, dans lequel on connaîtra alors trois éléments, p, D et l'angle droit, pourra donc être complétement déterminé, et l'on y calculera i, c'est-à-dire le côté CH. Cet angle i s'obtiendra par son sinus, et l'on trouvera par conséquent deux solutions supplémentaires. Mais il faut toujours prendre pour i l'angle aigu, lequel est plus petit que D et que P, ainsi que le montrent les figures et les formules (9).

Ainsi, dans cette série de questions, on aura à calculer un côté d'un triangle rectangle, dans lequel on connaîtra l'hypoténuse et un angle. On emploiera pour cela la formule :

$$\text{(9)} \qquad \sin i = \sin p \sin D$$

ou

$$\sin CH = \sin CD \sin D.$$

Voici un exemple numérique, qui est le même que celui du premier cas de la première série, où nous supposons qu'on veuille pousser les calculs jusqu'à la détermination de i.

On calculera d'abord p dans ce premier cas, comme on

avait calculé c, et l'on trouvera $p = 155° 45' 34''$. Quant à D, il fait partie des données, et il est égal à 30 degrés. Ceci obtenu, on aura ici par la formule (9) :

$$\sin i = \sin 155° 45' 34'' \sin 50°$$

$$\log \sin 155° 45' 34'' = \ldots\ldots \bar{1}.6133856$$

$$\log \sin 50° = \ldots\ldots \bar{1}.8842540$$

$$\log \sin i = \ldots\ldots \bar{1}.4976396$$

d'où
$$i = 18° 19' 53''.$$

On pourra vérifier cette valeur en calculant également i dans le second triangle rectangle CHP, après avoir déterminé, dans le triangle oblique, d au lieu de p.

On trouve :

$$d = 57° 5' 51'' \qquad \sin i = \sin 57° 5' 51'' \sin 158°$$

$$\log \sin 57° 5' 51'' = \bar{1}.9240704$$

$$\log \sin 158° = \bar{1}.5735754$$

$$\log \sin i = \bar{1}.4976458$$

D'où l'on tire pour i la même valeur $18° 19' 53''$, qui est par conséquent celle de l'inclinaison du crochon.

Troisième série. — Lorsque i est l'un des trois éléments connus, les deux autres peuvent être pris d'une manière quelconque parmi les quatre éléments du triangle oblique, D, P, c et a, ce qui donne naissance à six cas différents.

Parmi ces six cas, il y en a cinq où l'on peut déterminer de suite les éléments du triangle rectangle CDH ou du triangle rectangle CPH, au moyen des formules élémentaires de la trigonométrie sphérique : ce sont ceux où l'on connaît l'un au moins des deux éléments D et P. Si par

exemple on connaît D et C, on déterminera l'hypoténuse $CD = p$ du triangle CDH par la formule :

$$\sin p = \frac{\sin i}{\sin D}.$$

On connaîtra alors trois éléments D, c, p, du triangle oblique DCP, et l'on pourra y déterminer C et P par les analogies de Neper :

$$\operatorname{tang} \frac{C+P}{2} = \frac{\cos \frac{C-P}{2}}{\cos \frac{C+P}{2} \operatorname{tang} \frac{D}{2}},$$

$$\operatorname{tang} \frac{C-P}{2} = \frac{\sin \frac{C-P}{2}}{\sin \frac{C+P}{2} \operatorname{tang} \frac{D}{2}}.$$

Voici un exemple numérique :

On connait l'inclinaison du crochon, $i = 15°$,

L'inclinaison du dressant, $D = 70°$,

L'angle des affleurements du dressant et de la plateure $C = 30°$;

On cherche l'inclinaison de la plateure P, et l'angle qu'elle fait avec le dressant C.

On détermine d'abord p par la formule

$$\sin p = \frac{\sin 15°}{\sin 70°}$$

$$\log \sin 15° = \bar{1}.4129962$$

$$\log \sin 70° = \bar{1}.9729858$$

$$\log \sin p = \bar{1}.4400104$$

$$p = 15° 59' 14''$$

$$c - p = 14° \ 0' 46''$$

$$\frac{c-p}{2} = 7^\circ\ 0'\ 23''$$

$$c+p = 45^\circ\ 59'\ 14''$$

$$\frac{c+p}{2} = 22^\circ\ 59'\ 37''$$

On calcule ensuite P et C par les deux nalogies de Neper :

$$\operatorname{tang}\frac{C+P}{2} = \frac{\cos 7^\circ\ 0'\ 23''}{\cos 22^\circ\ 59'\ 37''\ \operatorname{tang} 35^\circ}$$

$$\operatorname{tang}\frac{C-P}{2} = \frac{\sin 7^\circ\ 0'\ 23''}{\sin 22^\circ\ 59'\ 37''\ \operatorname{tang} 35^\circ}$$

$$\log\cos\ 7^\circ\ 0'\ 23'' = \ldots\ldots\ldots \quad \bar{1}.9967447$$

$$\log\cos 22^\circ\ 59'\ 37'' = \bar{1}.9640467$$

$$\log\operatorname{tang} 35^\circ = \bar{1}.8452268$$

$$\bar{1}.8092735 \ldots \quad \bar{1}.8092735$$

$$\log\operatorname{tang}\frac{C+P}{2} = \ldots\ldots \quad \bar{0}.1874712$$

$$\frac{C+P}{2} = 56^\circ\ 59'\ 56''$$

$$\log\sin\ 7^\circ\ 0'\ 23'' = \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \bar{1}.0862887$$

$$\log\sin 22^\circ\ 59'\ 37'' = \bar{1}.5917640$$

$$\log\operatorname{tang} 35^\circ = \bar{1}.8452268$$

$$\bar{1}.4369908 \ldots \quad \bar{1}.4369908$$

$$\log\operatorname{tang} -\frac{c-P}{2} = \ldots\ldots \quad \bar{1}.6492879$$

$$\frac{C-P}{2}\ 24^\circ = 2'\ 4''.$$

Donc

$$C = 81^\circ\ 2'\ 0''$$

et

$$P = 32^\circ 57' 52''.$$

Les quatre autres cas de cette série, dans lesquels on connaît l'un au moins des deux éléments D et P se traiteront exactement comme celui-ci.

Il ne reste plus qu'à examiner le sixième, où l'on connaît, indépendamment de i, deux éléments ne comprenant ni D, ni P, et qui ne peuvent être, par conséquent, que C et c.

Sixième cas. — On connaît l'inclinaison du crochon i, l'angle du dressant et de la plateure dans l'espace, C, et l'angle de ces deux mêmes branches en affleurement, c.

On demande l'inclinaison de chacune de ces deux branches, D et P.

Ici l'on ne peut pas calculer directement les éléments du triangle rectangle : le problème revient à déterminer les éléments d'un triangle sphérique, dans lequel on donne la base, l'angle au sommet, et la hauteur, c'est-à-dire la longueur de l'arc abaissé du sommet perpendiculairement à la base.

Dans ce cas, pour obtenir des formules calculables par logarithmes, il faut prendre deux angles auxiliaires, ainsi que nous allons l'indiquer.

On a les relations :

$$\frac{\sin c}{\sin C} = \frac{\sin d}{\sin D}$$

$$\sin i = \sin D \sin p$$

qui, multipliées entre elles, donnent :

$$\sin d \sin p = \frac{\sin c \sin i}{\sin C}.$$

D'autre part :

$$\cos d \cos p = \cos c + \frac{\sin c \sin i \cos C}{\sin C}.$$

D'où l'on conclut :

$$\cos(d-p) = \cos c + \sin c \sin i \operatorname{tang} \frac{C}{2}$$

$$\cos(d+p) = \cos c - \frac{\sin c \sin i}{\operatorname{tang} \frac{C}{2}}.$$

Si maintenant l'on pose :

$$\operatorname{tang} \alpha = \operatorname{tang} c \sin i \operatorname{tang} \frac{C}{2}$$

$$\operatorname{tang} \beta = \frac{\operatorname{tang} c \sin i}{\operatorname{tang} \frac{C}{2}}$$

on aura :

$$\cos(d-p) = \cos c(1+\operatorname{tang} \alpha) = \sqrt{2} \cos c \frac{\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{4}\right)}{\cos \alpha}$$

$$\cos(d+p) = \cos c(1+\operatorname{tang} \beta) = \sqrt{2} \cos c \frac{\sin\left(\frac{\pi}{4} - \beta\right)}{\cos \beta},$$

ce qui permettra de calculer d et p, et par suite, si on le désire, les autres éléments du triangle.

Voici un exemple numérique, pour lequel les résultats de l'exemple précédent nous serviront de données.

On connaît l'inclinaison du crochon, $i = 15°$,

L'angle du dressant et de la plateure, $C = 81° 2' 0''$, et l'angle de ces branches en affleurement, $C = 30°$.

On demande les angles D et P.

On aura :

$$\frac{C}{2} = 40° 31' 0''$$

$$\operatorname{tang} \alpha = \operatorname{tang} 30° \sin 15° \operatorname{tang} 40° 31' 0''$$

$$\log \operatorname{tang} 30° = \bar{1}.7614394$$

$$\log \sin 15° = \bar{1}.4129962$$

$$\log \operatorname{tang} 40° 31' 0'' = \bar{1}.9317547$$

$$\log \operatorname{tang} \alpha = \bar{1}.1061903 \qquad \alpha = 7° 16' 38''$$

$$\text{tang}\,\beta = \frac{\text{tang}\,30^\circ \sin 15^\circ}{\text{tang}\,40^\circ\,31'\,0''}$$

$$\log \text{tang}\,30^\circ = \bar{1}.7614394$$
$$\log \sin 15^\circ = \bar{1}.4129962$$
$$\bar{1}.1744356$$
$$\log \text{tang}\,40^\circ\,31'\,0'' = \bar{1}.9317547$$
$$\log \text{tang}\,\beta = \bar{1}.2426809 \qquad \beta = 9^\circ\,55'\,6''$$

$$\cos(d-p) = \sqrt{2} \times \cos 30^\circ \frac{\sin 52^\circ\,16'\,38''}{\cos\ 7^\circ\,16'\,38''}$$

$$\log \sqrt{2} = 0.1505150$$
$$\log \cos 30^\circ = \bar{1}.9375306$$
$$\log \sin 52^\circ\,16'\,38'' = \bar{1}.8981660$$
$$\bar{1}.9862116$$
$$\log \cos\ 7^\circ\,16'\,38'' = \bar{1}.9964875$$
$$\log \cos(d-p) = \bar{1}.9897241 \qquad d-p = 12^\circ\,24'\,53''$$

$$\cos(d+p) = \sqrt{2} \cos 30^\circ \frac{\sin 35^\circ\ 4'\,54''}{\cos\ 9^\circ\,55'\ 6''}$$

$$\log \sqrt{2} = 0.1505150$$
$$\log \cos 30^\circ = \bar{1}.9375306$$
$$\log \sin 35^\circ\ 4'\,54'' = \bar{1}.7594740$$
$$\bar{1}.8475196$$
$$\log \cos\ 9^\circ\,56'\ 6'' = \bar{1}.9934602$$
$$\log \cos(d+p) = \bar{1}.8540594 \qquad d+p = 44^\circ\,23'\,24''$$

D'où :

$$d = 28^\circ\,24'\,8'',$$
$$p = 15^\circ\,59'\,15''.$$

On calculera ensuite P et D par les formules

$$\sin \mathrm{P} = \sin p \frac{\sin \mathrm{C}}{\sin c} = \sin 15^\circ 59' 15'' \frac{\sin 81^\circ 2'}{\sin 30^\circ}$$

$$\sin \mathrm{D} = \sin d \frac{\sin \mathrm{C}}{\sin c} = \sin 28^\circ 24' \; 8'' \frac{\sin 81^\circ 2'}{\sin 30^\circ}$$

$$\log \sin 15^\circ 59' 15'' = \bar{1}.4400076$$
$$\log \sin 81^\circ \; 2' \; 0'' = \bar{1}.9946599$$
$$\bar{1}.4346675$$
$$\log \sin 30^\circ = \bar{1}.6989700$$
$$\log \sin \mathrm{P} = \bar{1}.7356975 \qquad \mathrm{P} = 32^\circ 57' 52''$$

$$\log \sin 28^\circ 24' 8'' = \bar{1}.6772911$$
$$\log \sin 81^\circ \; 2' 0'' = \bar{1}.9946599$$
$$\bar{1}.6719510$$
$$\log \sin 30^\circ = \bar{1}.6989700$$
$$\log \sin \mathrm{D} = \bar{1}.9729810 \qquad \mathrm{D} = 70^\circ.$$

On trouve donc bien pour P et pour D les mêmes valeurs que dans le cinquième cas, ce qui donne une vérification.

Bien qu'on n'ait généralement besoin, dans les exploitations de mines, que de connaître les angles en degrés, et non en minutes et secondes, il sera bon de faire toujours le calcul complet et de le vérifier, comme nous l'avons fait pour plusieurs des exemples choisis, en passant du problème qu'on se sera posé au problème inverse, dont la solution devra reproduire les données du premier.

Paris, le 22 septembre 1872.

NOTE

SUR UN ACCIDENT ARRIVÉ, LE 8 JUIN 1872, DANS LA MINE DE HOUILLE DE LA PÉRONNIÈRE (LOIRE).

Deux ouvriers travaillaient à prendre une tranche parallèle à une voie de roulage (Pl. V, fig. 3). Ils avaient pratiqué un coup de mine dans le front de taille *ab* et, après l'avoir allumé, s'étaient assis en M, dans la galerie de roulage, à une dizaine de mètres de ce coup de mine. Lorsque se fit l'explosion, des flammes se produisirent, atteignirent les deux hommes et les brûlèrent.

Il ne semble pas que le grisou soit pour quelque chose dans cet accident. Les blessés n'en avaient jamais aperçu dans le chantier et il a été impossible d'y en reconnaître la moindre trace. D'ailleurs, ce n'est pas à la fin d'un dépilage, lorsqu'il ne reste plus qu'un faible pilier, qu'on doit s'attendre à un dégagement de grisou.

Le coup de mine, en partant, s'est débourré; il était fortement chargé (220 grammes de poudre environ) et a donné un jet de flamme qui a pu durer un certain temps. L'abatage, dans cette région, produit beaucoup de poussières; ces poussières ont pu être soulevées et enflammées par l'espèce de fusée qui s'est produite; d'où, sans doute, une flamme pleine de grains incandescents, assez longue pour atteindre et brûler les deux ouvriers, placés à une dizaine de mètres du coup de mine.

Après l'accident, des particules de charbon carbonisé se montraient sur les bois, au toit et sur le sol; ces traces étaient surtout nombreuses en face du coup de mine, en P;

elles allaient en diminuant vers la galerie de roulage; tandis que des cavités, existant au-dessus des remblais qui sont au-delà du chantier, ne présentaient aucune trace de feu. Les parties du corps des blessés atteintes par la flamme étaient comme couvertes d'une couche de charbon collé.

Il semble donc probable que l'accident de la Péronnière est dû à l'inflammation des poussières de charbon par le coup de mine.

Un accident de même nature s'était produit, le 7 février 1871, au puits Sainte-Marie de la concession houillère de Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire) (Pl. V, *fig.* 4).

Deux ouvriers avaient pratiqué un coup de mine au fond d'un bure de 5^m,40 de profondeur; une première cartouche ayant raté, ils débourrèrent le coup et y remirent de la poudre (contrairement aux règlements), puis allumèrent la mèche et allèrent attendre l'explosion au bout d'une traverse longue de 6^m,70, en M, à 12 mètres du coup de mine. Il se produisit deux explosions très-rapprochées et, à la suite de la seconde, une flamme jaunâtre atteignit les deux ouvriers, qui furent brûlés, l'un mortellement et l'autre grièvement.

Comme à la Péronnière, on n'avait jamais vu de grisou dans ces parages et il a été impossible d'en trouver après l'accident. Il n'y avait aucune cavité où il pût s'accumuler. Des dépôts de grains de coke, sur les cadres, commençaient à 2 mètres au-dessous de l'orifice du bure; ils étaient abondants sur les cadres immédiatement au-dessus et sur le montant placé à l'intersection des deux galeries, à l'angle externe; ils disparaissaient entièrement dans la galerie d'aérage.

On était ainsi amené à considérer aussi cet accident comme dû au jet de flamme produit par le débourrage du coup de mine et à l'inflammation des poussières charbon-

neuses qui en a été la conséquence. Il y avait ici une circonstance aggravante, la présence de deux cartouches dans le trou; si elles n'ont pris feu que l'une après l'autre, la première a chassé la bourre et mis en mouvement les poussières déposées sur les cadres et sur les parois; la seconde a donné un long jet de flamme, qui a mis le feu à ces poussières en suspension dans l'air et déterminé l'accident.

M. Petitjean, directeur des mines du Montceau, a constaté que, « si l'on jette dans un foyer ardent une poignée de poussière de charbon de la première couche Sainte-Marie ou de Cinq-Sous, l'effet produit est analogue à celui de la poudre. » (*)

De tels faits conduisent à penser que l'inflammation des poussières répandues dans une mine, à la suite, par exemple, d'un coup de grisou local, a pu jouer un certain rôle dans de grands accidents comme ceux du puits Jabin (concession de Terrenoire, Loire) et du puits de la Garenne (Épinac, Saône-et-Loire), en 1871, du puits Cinq-Sous (Montceau, Saône-et-Loire), en 1867.

Dans chacun de ces accidents, tout un vaste quartier de mine a été ravagé, sans que l'on pût constater la présence d'une quantité de grisou assez considérable, semble-t-il, pour expliquer de pareils désastres. De plus, chaque fois, on a trouvé sur les cadres, sur le sol des galeries et jusque sur le corps des victimes, des dépôts de poussière de coke pareils à ceux que l'on a signalés à la Péronnière et au Montceau. Il paraît donc possible que les poussières aient été soulevées et enflammées par une première explosion, puis emportées, à l'état incandescent, dans le courant d'air qu'elle a produit; elles auraient alors pu aller mettre le feu à d'autres amas de mélange explosif plus ou moins éloignés du premier, et qui peut-être seraient, sans cette circonstance, restés inoffensifs. Enfin, la combustion plus ou

(*) M. Burat, *les Houillères en* 1872, p. 128.

moins complète de ces poussières et la distillation de leurs gaz ont pu aggraver les effets de brûlure et d'asphyxie du grisou lui-même. La présence de poussières charbonneuses très-ténues dans l'atmosphère des mines, surtout des mines à grisou, constituerait donc, dans une certaine mesure, un danger sur lequel doit être appelée l'attention des exploitants.

THÉORIE DU RÉGULATEUR LARIVIÈRE.

Par M. H. RÉSAL.

Ce régulateur, qui sort complétement de la catégorie des régulateurs généralement employés, se compose d'une pompe à air à double effet, mise en mouvement par l'arbre de la machine; s, s' (*fig.* 1, 2, 3 et 4, Pl. VII) sont les deux clapets d'aspiration et de refoulement dans l'atmosphère, placés à chacune des extrémités du corps de pompe.

L'aspiration a lieu dans un cylindre A par l'intermédiaire d'un tuyau T qui, en se bifurquant près du corps de pompe, aboutit aux deux clapets d'aspiration. Le cylindre se termine à sa partie supérieure par un cône qui laisse passer à son sommet, à frottement doux, la tige du piston B. L'extrémité supérieure de la tige se termine par une boule B', munie d'une embase cylindrique qui vient reposer sur la troncature horizontale du sommet du cône. Son extrémité inférieure est articulée à la manivelle d'une tringle horizontale C qui, en tournant, ouvre plus ou moins les orifices d'une valve d'admission circulaire (papillon).

Au moyen d'une petite roue D, cannelée sur le pourtour, faisant corps avec une vis adaptée à un registre, on peut faire varier à volonté la section d'un orifice, qui établit une communication entre l'air atmosphérique et le dessus du piston B.

Supposons que lorsque le piston de la pompe est arrivé à fond de course, la boule repose sur son siége, ce qui correspond à l'ouverture complète de la valve d'admission; la pompe entrant en fonction, il se produit dans le cy-

lindre A une diminution de pression d'autant plus grande que la vitesse est plus considérable; bientôt le système de B et B′ est soulevé, et l'arbre C fait fermer plus ou moins l'admission vers le maximum de vitesse du piston de la pompe; par suite de l'introduction de l'air par l'orifice que règle la roue D, le système BB′ retombe sur son siége, et ainsi de suite.

L'admission est d'autant plus rapidement restreinte que la vitesse de l'arbre moteur est peu considérable.

La roue D permet de régler l'introduction de l'air pour une vitesse moyenne déterminée qui peut être ainsi maintenue constante, lors même que la résistance utile vient à varier.

La théorie complète de cet appareil conduirait à des calculs très-compliqués; mais on peut les simplifier notablement en remarquant que, comme la détente est très-faible dans le tuyau T, on peut en faire abstraction et supposer l'air incompressible. D'un autre côté, comme la section du cylindre A est très-grande par rapport à celle de l'orifice d'aspiration, on peut considérer la perte de pression au-dessus de B comme étant uniquement due à l'extinction de la force vive de l'air à son entrée dans le cylindre.

Soient P la pression atmosphérique,
ϖ le poids spécifique de l'air à cette pression,
ω la vitesse angulaire de l'arbre de la machine,
A la surface du piston de la pompe,
s celle du piston B,
a celle de l'orifice d'aspiration,
p la pression variable dans le cylindre,
Q le poids du système BB′,
r le rayon de la manivelle de la pompe,
θ l'angle dont cette manivelle a tourné à partir d'un point mort.

Nous négligerons l'obliquité de la bielle de la pompe et

l'effort très-petit, par rapport à Q, nécessaire pour faire fonctionner la valve.

La vitesse du piston de la pompe étant $\omega r \sin\theta$, celle de l'air, à son entrée dans le cylindre B, est $\omega r \frac{A}{a} \sin\theta$, d'après l'équivalence des masses ou des volumes. On a donc, en vertu d'un principe connu de l'hydraulique et des hypothèses admises,

$$\frac{\omega^2 r^2 \sin^2\theta}{2g} \cdot \frac{A^2}{a^2} = \frac{P - p}{\varpi},$$

d'où

$$P - p = \frac{\varpi \omega^2 r^2 \sin^2\theta}{2g} \cdot \frac{A^2}{a^2}.$$

Soit maintenant z la hauteur à laquelle le piston s'est élevé à partir de sa position la plus basse, ou pour $\theta = 0$.

Il est clair que l'on a

$$\frac{Q}{g} \frac{d^2 z}{dt^2} = (P - p)S - Q,$$

d'où

$$(a) \qquad \frac{\omega^2}{g} \frac{d^2 z}{d\theta^2} = \frac{\omega^2}{\omega_1^2} \sin^2\theta - 1;$$

en posant, pour abréger,

$$(1) \qquad \omega_1^2 = \frac{2gQ}{\varpi r^2 S} \cdot \frac{a^2}{A^2},$$

et remarquant que $\omega dt = d\theta$.

Pour que l'appareil puisse fonctionner, il faut que pour une certaine valeur de θ on ait

$$\frac{\omega^2}{\omega_1^2} \sin^2\theta \geqq 1,$$

ce qui exige que ω soit au moins égal à ω_1, que nous prendrons maintenant pour vitesse angulaire minimum.

L'équation (a) ne sera donc applicable qu'à partir de valeur θ'_1 et θ donnée par

$$(b) \qquad \sin\theta'_1 = \frac{\omega_1}{\omega}$$

pour laquelle BB' tendra à se déplacer, la vitesse $\frac{dz}{dt}$ étant nulle.

Une première intégration donne :

$$\frac{\omega^2}{g}\frac{dz}{d\theta} = \left(\frac{\omega^2}{2\omega_1^2} - 1\right)(\theta - \theta'_1) - \frac{\omega^2}{4\omega_1^2}(\sin 2\theta - \sin 2\theta'_1).$$

Le piston B sera sur le point de retomber pour la valeur θ'_2 inférieure à 180° donnée par l'équation

$$(c) \qquad \left(\frac{\omega^2}{2\omega_1^2} - 1\right)(\theta'_2 - \theta'_1) - \frac{\omega^2}{4\omega_1^2}(\sin 2\theta'_2 - \sin 2\theta'_1) = 0.$$

Enfin on aura, pour déterminer l'amplitude z_1 de l'oscillation,

$$(d) \qquad \frac{\omega^2}{g}z_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{\omega^2}{2\omega_1^2} - 1\right)(\theta_2'^2 - \theta_1'^2) - \frac{\omega^2}{4\omega_1^2}\left(\frac{\cos 2\theta'_1 - \cos 2\theta'_2}{2} - (\theta'_2 - \theta'_1)\sin 2\theta'_1\right).$$

Soient maintenant :

ω_2 la vitesse angulaire maximum,

Ω la vitesse angulaire moyenne,

$\frac{1}{n}$ l'écart proportionnel maximum de ω, et que nous supposerons ne pas dépasser $^1/_8$, de manière à pouvoir en négliger le quarré,

θ_2 et θ_1 les valeurs de θ'_2 et θ'_1 correspondant à $\omega = \omega_2$,

h la hauteur à laquelle doit s'élever le piston B pour que l'admission soit supprimée.

On devra s'arranger de manière que $h = z_1$ pour $\omega = \omega_2$.

On a

$$\Omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}, \qquad \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Omega} = \frac{1}{n},$$

d'où

$$\omega_2 = \Omega\left(1 + \frac{1}{2n}\right)$$

$$\omega_1 = \Omega\left(1 - \frac{1}{2n}\right)$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 + \frac{1}{n}$$

$$\sin\theta_1 = 1 - \frac{1}{n}$$

$$\cos\theta_1 = \sqrt{\frac{2}{n}}\left(1 - \frac{1}{2n}\right) = \left(1 - \frac{1}{4n}\right)\sqrt{\frac{2}{n}}.$$

Si maintenant nous posons

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - y,$$

y étant du même ordre de grandeur que $\frac{1}{n}$, nous aurons

$$\sin y = y - \frac{y^3}{6} = \left(1 - \frac{1}{4n}\right)\sqrt{\frac{2}{n}},$$

d'où

$$y = \left(1 + \frac{1}{12n}\right)\sqrt{\frac{2}{n}} = \sqrt{\frac{2}{n}},$$

et

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - \sqrt{\frac{2}{n}},$$

$$\sin 2\theta_1 = \sin\sqrt{\frac{8}{n}}, \qquad \cos 2\theta_1 = -\cos\sqrt{\frac{8}{n}}.$$

L'équation (1) ou

$$(1') \qquad \Omega^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 = \frac{2gQ}{\varpi r^2} \cdot \frac{a^2}{A^2}$$

permettra de déterminer le poids Q dès que l'on se sera donné r et une moyenne valeur de $\frac{a}{A}$.

L'équation (c) devient pour $\omega = \omega_2$

$$(2) \qquad \sin 2\theta_2 = 4\left(\frac{2}{n} - \frac{1}{2}\right)\left(\theta_2 - \frac{\pi}{2} + \sqrt{\frac{2}{n}}\right) + \sin\sqrt{\frac{8}{n}}.$$

D'après cette formule on voit que θ_2 doit peu différer de $\frac{\pi}{2}$, et l'on aura une première approximation en posant

$$(2') \qquad \sin 2\theta_2 = 4\left(\frac{2}{n} - \frac{1}{2}\right)\sqrt{\frac{2}{n}} + \sin\sqrt{\frac{8}{n}},$$

et enfin une seconde approximation en portant la valeur déduite de cette formule dans le second membre de l'équation (2).

On trouve ainsi :

(3)			Première approximation.
	Pour $1/n = 1/9$,	$\theta_1 = 62°\,44'\,0''$,	$\theta'_2 = 81°\,25'\,30''$.
	Pour $1/n = 1/16$,	$\theta_1 = 69°\,38'\,10''$,	$\theta'_2 = 86°\,11'\,55''$.
	Pour $1/n = 1/25$,	$\theta_1 = 73°\,44'\,30''$,	$\theta'_2 = 88°\,29'\,43''$.

Soit maintenant $\theta_2 + \delta\theta_2$ la seconde valeur approchée de θ_2; la formule (2) donne, en négligeant le quarré de $\delta\theta_2$:

$$\cos 2\theta_2 . \delta\theta_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{n}\right)\left(\frac{\pi}{n} - \theta_2\right),$$

ou tout simplement

$$(4) \qquad \delta\theta_2 = -\left(\frac{1}{2} - \frac{2}{n}\right)\left(\frac{\pi}{2} - \theta_2\right),$$

en remarquant que le cosinus varie très-peu lorsque l'arc est voisin de 180 degrés.

On obtient ainsi comme seconde approximation :

$$\text{Pour } {}^1/_n = {}^1/_9 \quad \theta_2 = 78^\circ\, 56'\, 28''.$$
$$\text{Pour } {}^1/_n = {}^1/_{16} \quad \theta_2 = 86^\circ\, 32'\, 3''.$$
$$\text{Pour } {}^1/_n = {}^1/_{25} \quad \theta_2 = 89^\circ\, 25'\, 45''.$$

L'écart $\theta_2 - \theta_1$ étant à peu près le même dans les trois cas, et différant peu de 16 degrés, un déplacement égal angulaire a lieu pendant la chute du piston B, de sorte que l'appareil ne fonctionne ou les étranglements dans l'admission ne se produisent que pendant un cinquième ou un sixième de chaque demi-révolution. Ce résultat s'accorde très-bien avec l'observation ; chaque oscillation est, en effet, de très-courte durée.

La formule (*d*) donne maintenant

$$\frac{\Omega^2}{g}\left(1+\frac{2}{n}\right)h = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{n}-\frac{1}{2}\right)(\theta_2^2-\theta_1^2) -$$
$$\frac{\Omega^2}{4}\left(1+\frac{2}{n}\right)\left[\frac{\cos 2\theta_1 - \cos 2\theta_2}{2} - (\theta_2-\theta_1)\sin 2\theta_2\right],$$

d'où l'on déduira la valeur qu'il faut donner à h.

RAPPORT

A M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS SUR LES OUTILS DE SONDAGE

Présentés par M. ERMELING, major du génie dans l'armée des Indes-Orientales Néerlandaises.

Le ministre des travaux publics a, par l'intermédiaire de M. le ministre des affaires étrangères, reçu de M. Ermeling, major du génie dans l'armée des Indes-Orientales Néerlandaises, un nouvel outillage inventé par cet officier supérieur pour le sondage des puits artésiens.

Cet outillage, généreusement offert à l'administration française, est déposé à l'École des mines de Paris.

M. le ministre a confié le soin de l'examiner, pour lui en rendre compte, à une commission composée de MM. Gruner, Lefébure de Fourcy, inspecteurs généraux, Callon, ingénieur en chef des mines, le premier, président, et le dernier, rapporteur de cette commission.

Les outils envoyés par M. Ermeling sont au nombre de deux : une coulisse à chute libre, dite coulisse hollandaise, et une cuiller à trépans.

L'auteur expose dans une note manuscrite que, chargé d'une mission officielle en France, pour étudier les procédés de sondage, en vue d'établir des puits artésiens dans l'île de Java, il s'est occupé des procédés de MM. Kind, Degousée et Laurent, principalement dans leur application aux sondages exécutés par l'État en France et en Algérie; que cette étude l'a conduit à combiner un système qui tient surtout des procédés de M. Kind, mais avec certaines modifica-

tions empruntées à MM. Degousée et Laurent, ou lui appartenant en propre.

Il est parvenu, par l'emploi de son système, dans un pays offrant fort peu de ressources, à pousser un sondage jusqu'à la profondeur de 747 mètres.

A la note manuscrite est jointe une brochure intitulée : « Nouvel outillage de sondage, système chute libre, em- « ployé aux travaux civils du gouvernement indo-néer- « landais. Sourabaya, île de Java, 1868. »

Cette brochure est l'exposé d'une demande de brevet en France, tant pour les deux outils soumis à l'examen de la commission, que pour divers autres appareils désignés par l'auteur sous les noms de cuiller à noyau, parachoc et coulisse javanaise, sur lesquels la commission n'a pas ici à se prononcer.

Cette brochure forme le complément de la description donnée dans la note manuscrite sur la coulisse à chute libre et sur la cuiller à trépans.

La *coulisse à chute libre* fonctionne exactement sur le principe de l'appareil de même nom, imaginé par M. Kind. Dans l'un comme dans l'autre, on doit distinguer, pendant la marche, la *partie supérieure* des tiges qui sert seulement à relever l'outil, et la *partie inférieure*, courte, massive, d'un poids approprié aux dimensions du trou et à la dureté de la roche, qui seule doit agir par percussion. Ces deux parties sont accrochées l'une à l'autre pendant l'ascension des tiges. A la descente, un disque faisant plus ou moins exactement piston dans le trou et soumis de bas en haut à la résistance de l'eau, manœuvre un déclic et décroche ainsi la partie inférieure qui continue à tomber seule, tandis que la partie supérieure est ralentie par l'action d'un contre-poids ou arrêtée par un ressort de choc.

La principale différence entre l'appareil Ermeling et l'appareil Kind, est que le premier occupe moins de place, ne fait aucunement saillie sur les deux platines entre les-

quelles il est placé, et peut ainsi fonctionner dans des trous de sonde de moindre diamètre (jusqu'à 0^m,14, selon l'auteur). C'est un avantage pour la traversée de terrains qui peuvent exiger l'insertion de plusieurs tubages successifs à l'intérieur les uns des autres.

Une autre différence consiste dans l'emploi de deux ou plusieurs disques, au lieu du disque unique de M. Kind. L'objet de cette disposition est d'assurer un jeu efficace, dans le cas où le trou de sonde aurait été dégradé par des éboulements partiels.

Enfin M. Ermeling signale l'emploi de petits rouleaux substituant, dans le jeu de la coulisse, le frottement de roulement au frottement de glissement. Peut-être cet avantage est-il compensé par l'inconvénient d'avoir une pièce mobile de plus, d'une usure assez rapide, d'un petit volume, et délicate à manier.

Le second appareil, la *cuiller à trépans*, est applicable à des terrains de consistance moyenne. Il sert à entailler circulairement la roche, en laissant au milieu un témoin qui sera ultérieurement enlevé.

En même temps il fonctionne comme une cloche à soupape destinée au curage.

C'est un appareil pour battre et pour curer à la fois.

On peut ainsi gagner du temps, et l'on simplifie l'outillage, deux points qui ont, l'un et l'autre, leur intérêt.

Le journal de sondage, dont un extrait est produit, montre que les outils ci-dessus ont permis d'exécuter un sondage à grande profondeur dans des conditions satisfaisantes de rapidité.

La commission estime, en résumé, que les outils présentés par M. Ermeling présentent des dispositions nouvelles intéressantes, et qui semblent être sanctionnées par la pratique.

Elle émet le vœu que ces outils restent déposés dans les

collections de l'École des mines, et que la brochure produite soit envoyée à la bibliothèque de ce même établissement.

Paris, le 15 juin 1872.

Les membres de la commission :
GRUNER, LEFÉBURE DE FOURCY, CALLON, *rapporteur.*

Extrait de la brochure publiée par M. Ermeling.

1° *Coulisse hollandaise* construite en février 1867 (Pl. VII, *fig.* 5). — La figure suppose la sonde relevée.

L'outil sondeur A s'adapte à la lame en acier BB de la coulisse: cette lame se meut entre deux platines longitudinales *hh*, *kk*, fixées sur un élargissement *m* de la tige qui relie l'appareil aux tiges ordinaires de sondage.

Entre les platines se trouve un fort crochet en acier CC' à large prise, mobile autour d'un axe *a* : le sommet C aminci du crochet pénètre dans le pied d'une fourchette.

La fourchette est suspendue au moyen de longs boulons *bb*, à un disque flotteur *dd* (en fer et caoutchouc). Un jeu de quelques centimètres lui est ménagé sur la tige de l'instrument.

Entre les platines se trouve encore, fixée dans leurs flancs, une traverse en acier *t*, servant à maintenir la partie supérieure de la lame, dès que la tête de cette dernière est en prise avec le tenant inférieur C' du crochet.

Quand on relève la sonde, l'eau appuyant sur le disque, le crochet est retenu dans la position qu'indique la figure par un petit rouleau *c*, fixé dans le centre du pied de la fourchette; l'axe de ce petit rouleau porte à ses extrémités deux rouleaux conducteurs en acier, jouant dans deux coulisses verticales *e*, ménagées dans les platines.

L'outil sondeur, adapté au bas de la lame, est donc relevé en même temps que l'instrument. Mais au moment où la sonde commence à descendre, la situation change. L'eau résistant un moment au disque et à la fourchette qui fait corps avec lui, les tient immobiles, tandis que le reste de l'instrument passe librement. Le

tenon C du crochet, naturellement pressé contre le rouleau *c*, glisse sur ce dernier en tournant autour de l'axe *a*, et ouvre ainsi le tenant inférieur C' : la lame devient libre et l'outil sondeur tombe au fond du trou. Le reste de la coulisse avec les tiges de sonde poursuit lentement son mouvement de descente, et, arrivé au bas de sa course, reprend l'outil pour l'entraîner dans sa prochaine ascension.

Dans les petits trous non tubés, avec des parois entamées par les éboulements, on multiplie avec succès le nombre des disques : on les place à la distance de 0m,40 l'un de l'autre.

Le coin, employé pour la prise et le déclic, est le défaut capital des anciennes coulisses. Suivant leur état de graissage ou d'usure, les coins sont sujets à une résistance très-variable. Les rouleaux facilitent, au contraire, singulièrement le jeu du crochet.

2° *Cuiller à trépans*, construite en 1862, améliorée en 1866 (Pl. VII, *fig.* 6).

Cet outil comprend un fort tuyau en tôle, rivé et soudé, un peu conique, ayant à son extrémité supérieure un emmanchement solide et à sa base un anneau *a* forgé et bien tourné, propre à recevoir deux trépans *b* et *b*, qui, vus de dessous, présentent l'aspect *ff*.

A l'intérieur se trouve un fort clapet C.

En battant, l'outil laisse au centre un noyau cylindrique et broie les débris de l'espace annulaire en une boue si liquide que les progrès du battage se doublent, se triplent et davantage encore, surtout lorsque l'outil est fortement chargé et le terrain peu collant (marne calcaire et calcaire tendre). La trituration est favorisée par le clapet qui détermine une ascension rapide de l'eau et des débris à l'intérieur de la cuiller, et un mouvement de descente correspondant, à l'extérieur de cet appareil.

3° *Parachoc* construit en mars 1867 (Pl. VII, *fig.* 7).

Cet instrument, placé entre la coulisse et les tiges en bois, doit neutraliser les chocs formidables qu'un outillage pesant imprime à la coulisse, lorsqu'il tombe dans le vide après s'être accidentellement accroché.

Une pile *a a* de substances élastiques, enfermées dans un cylindre en tôle ou en cuivre *b b*, se trouve placée entre deux fortes plaques en fer. La plaque inférieure est reliée aux tiges en bois par un emmanchement solide; la plaque supérieure porte la douille de la tige adaptée à la coulisse. La pile élastique forme ainsi un solide ressort. L. F.

MÉMOIRE

SUR LA PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS A PRZIBRAM (BOHÊME).

Par M. A. HENRY, ingénieur des mines.

Dans un précédent mémoire (*Annales des mines*, 6e sér., t. XIX, p. 294, 1871), j'ai étudié la préparation mécanique des minerais de plomb et de zinc en Belgique et en Prusse Rhénane ; après avoir décrit les appareils servant aux diverses opérations et donné autant que possible la théorie de ces appareils et de ces opérations, j'ai indiqué avec quelques détails la marche complète de plusieurs ateliers intéressants. Je ferai de même ici pour la préparation mécanique de Przibram, mais sans insister sur la théorie, et en renvoyant à mon premier travail toutes les fois qu'il sera nécessaire. Je vais donc passer en revue la série d'opérations suivie à Przibram et étudier les différents appareils employés, en insistant un peu sur tous les détails intéressants de leur construction et de leur marche ; je décrirai ensuite quelques-uns des ateliers, et je terminerai en donnant quelques chiffres et renseignements statistiques sur l'ensemble de la préparation.

Mais auparavant, je veux adresser ici mes remercîments les plus sincères au savant créateur des ateliers de Przibram, à M. de Rittinger, dont les bienveillantes recommandations et les bons avis ont singulièrement facilité ma tâche.

PREMIÈRE PARTIE.

Les gîtes exploités à Przibram sont des filons (*). Leur remplissage métallifère est formé de galène argentifère, de blende et de fer carbonaté : c'est la galène qui domine; les gangues proprement dites sont le quartz, la calcite et la baryte sulfatée : c'est la calcite qui est la plus abondante ; les roches encaissantes sont la grauwacke, les schistes et la diorite en filons dans ces deux formations.

Le siége principal de l'exploitation se trouve dans la grauwacke. Les travaux, poussés très-activement, y atteignent aujourd'hui la profondeur de 900 à 1.000 mètres. En s'approfondissant, les filons deviennent en général de plus en plus puissants et la galène de plus en plus riche en argent ; la teneur de cette dernière en métal précieux est plus que triple de ce qu'elle était dans les niveaux supérieurs.

Les prolongements des filons dans les schistes commencent à être explorés; en général, ils sont rejetés par la *Lettenkluft* qui forme le contact entre les schistes et la grauwacke; puis ils pénètrent en se traînant entre les lits des schistes, passant d'un joint dans un autre, et formant pour ainsi dire des gîtes en escalier.

Très-souvent, les filons détachent à leur mur ou à leur toit des veines plus ou moins importantes ; pour exploiter ces veines, il faut abattre une partie de la roche encaissante, et même quelquefois enlever toute la masse comprise entre elles et le filon principal. D'autre part, les gangues proprement dites sont relativement peu abondantes dans le filon même. C'est pourquoi la majeure partie du stérile extrait de la mine est de la grauwacke. Dès lors, les trois

(*) Ces filons ont été décrits par MM. Lévy et Choulette, ingénieurs des mines (*Annales des mines*, 6e série, t. XV, p. 129, 1869).

substances dominantes dans le minerai à préparer sont la galène, la blende et la grauwacke. Jusqu'ici on n'a cherché à séparer que la galène; les résidus blendeux sont accumulés aux abords des ateliers; on se propose de les traiter plus tard pour en extraire la blende, mais rien encore n'a été fait dans ce sens.

En général, les minerais ne sont pas finement disséminés; ils sont souvent en veines d'une certaine importance, presque toujours en petites masses reconnaissables et bien distinctes. On peut dire qu'ils sont relativement faciles à préparer. Leur nature et leur richesse, excepté la teneur en argent, sont les mêmes dans les différents puits.

La proportion moyenne de plomb dans l'ensemble des minerais extraits ne dépasse pas 1 p. 100; elle est souvent beaucoup plus faible.

I. — Cassage.

La séparation des gros et des menus se fait au moyen de grilles dans la mine même, aux recettes inférieures des puits.

Les gros sont cassés à la main; il n'y a qu'au Stefan-Schacht, à Bohutin, que le cassage se fasse à l'aide du concasseur américain.

Le minerai cassé est trié au fur et à mesure et divisé en quatre classes, savoir :

Galène massive à fondre;
Minerai à scheider;
Minerai à bocarder;
Stérile.

Depuis quelque temps, et dans quelques ateliers seulement, on sépare au cassage les morceaux de fer spathique et de calcaire pour servir de fondant à l'usine.

Le cassage s'exécute un peu partout sur les haldes, aux abords des puits et des ateliers. Les ouvriers employés à ce travail sont généralement des gamins d'un certain âge,

quelquefois des vieillards, rarement des femmes. Comme toujours à Przibram, leur salaire est réglé à la journée de douze heures de travail.

II. — Scheidage.

Les minerais à scheider proviennent, soit du cassage des gros, soit du triage des parties les plus grosses des menus. Par le scheidage, ils sont divisés en six classes, savoir :

Galène à fondre n° 1 (plomb, 70 p. 100) ;
Galène à fondre n° 2 (plomb, 50 à 60 p. 100) ;
Blende galèneuse ;
Minerai à broyer ;
Minerai à bocarder ;
Stérile.

La troisième classe est un mélange de blende et de galène dans lequel la blende domine ; elle est destinée au broyage.

La quatrième classe est un mélange pauvre de stérile et de blende et de galène non finement disséminées, et qu'un broyage ménagé peut encore séparer en grenailles homogènes d'une certaine dimension.

Dans la cinquième classe, au contraire, le minerai est trop finement disséminé et doit être bocardé fin pour être séparé.

Comme le cassage, le scheidage se fait un peu partout. A quelques exceptions près, il n'y a pas d'atelier de scheidage proprement dit. Les ouvriers employés à ce travail sont des gamins.

III. — Broyage.

Cylindres broyeurs. — Les cylindres broyeurs actuellement en usage à Przibram sont tous construits d'après un type uniforme ; ils ne sont, à proprement parler, ni à contrepoids, ni à ressorts. Les coussinets des cylindres sont fixés

à quelques mètres au-dessus du sol à quatre montants verticaux en bois et à l'intérieur du système formé par ces montants. Ces derniers sont très-fortement reliés ensemble à leurs extrémités, au niveau du sol et à la hauteur du plancher, mais complétement indépendants l'un de l'autre dans toute leur longueur. Les coussinets des deux cylindres sont également libres l'un par rapport à l'autre. De cette façon, lorsqu'un morceau de minerai à broyer présente une résistance trop considérable, les montants poussés par les cylindres s'écartent en vertu de leur élasticité, et jouent ainsi le double rôle de ressorts et de supports.

Les cylindres sont reliés par un engrenage; un distributeur automatique les alimente.

Malgré la simplicité relative de ces broyeurs, on doit les abandonner prochainement. Pour obtenir des appareils d'une grande puissance et suffisamment élastiques, il fallait pour les montants des pièces de bois de choix; il n'était pas toujours facile d'en obtenir d'une égale flexibilité. De plus, ces appareils causaient beaucoup d'ébranlement. On doit les remplacer par des broyeurs complétement métalliques que j'ai vus sur le point d'être terminés, et dont je vais donner la description.

Le support des cylindres A (*fig.* 1, 2 et 3, Pl. VIII) est un bâti en fonte B, reposant par une plaque de fondation C sur un massif de maçonnerie D, auquel il est fortement relié par les boulons *a*. Ce bâti porte les coussinets des cylindres, dont l'un E est fixe et dont l'autre E_1 est mobile et relié par une tige *b* à un ressort puissant F formé de lames de caoutchouc séparées par des lames de tôle. Une forte plate-bande en fer G consolide le bâti dans le sens horizontal et assujettit verticalement les deux coussinets.

Chaque cylindre est formé de deux couronnes de fonte P et Q (*fig.* 2, Pl. VIII); la couronne intérieure P est fixée sur l'arbre; l'autre Q est fixée à la première par l'inter-

médiaire de coins de bois fortement chassés et remplissant tout l'intervalle R. Lorsque la couronne extérieure est hors de service, il suffit d'enlever les coins pour la retirer et la remplacer.

Les deux cylindres sont réunis par un engrenage H.

Le minerai à broyer est chargé dans la trémie fixe I dont le fond est formé par le couloir J mobile sur les deux rouleaux *c* et relié par le mentonnet *d* à un ressort en lames de caoutchouc K. Ce ressort est fixé au bâti par la tige *f*. Une came L vient pousser le mentonnet *d* en comprimant le ressort ; lorsque la came n'est plus en prise, le mentonnet est repoussé par le ressort, de sorte que le couloir J est animé d'un mouvement alternatif et soumis à une série de chocs qui font tomber le minerai régulièrement entre les deux cylindres.

Les matières broyées tombent dans une auge circulaire horizontale M, dans laquelle se meut une vis d'Archimède N qui les amène au trommel classeur O.

Le mouvement est communiqué à tout le système par l'arbre moteur S. L'engrenage T fait mouvoir les cylindres ; la poulie U, la came du distributeur ; et la poulie V le trommel classeur et la vis d'Archimède. L'arbre moteur porte un volant X. Les rayons des différentes transmissions sont tels que les vitesses de rotation sont les suivantes :

Arbre moteur,	100	tours par minute;
Cylindre broyeur,	35	*id.*
Axe du distributeur,	66	*id.*
Trommel classeur,	5	*id.*

En général, à Przibram les broyeurs sont disposés par couples de deux, l'un ne faisant que repasser les refus du trommel classeur de l'autre ; de cette façon, on peut toujours faire servir au broyage des refus les cylindres les

moins usés, et produisant par suite pour les matières déjà fines le plus d'effet utile.

Bocards. — Les bocards employés à Przibram sont tous du type représenté en coupe verticale par la *fig.* 4, Pl. VIII. Le bâti se compose de pièces de bois verticales A assujetties dans le sol et dans le plancher supérieur, et entretoisées par les moises B qui servent aussi de guides aux flèches C. Ces flèches, munies de glissières en fer *a*, sont armées de sabots de fonte D, et viennent battre dans une auge en bois dont le fond est formé par un bloc de fonte E reposant sur des fondations de bois F. En avant de l'auge, se trouve une toile métallique G dont les trous ont un millimètre et demi de côté.

Le mouvement est communiqué par l'arbre moteur H au moyen de l'engrenage I à la came J ; cette dernière est en fonte ; elle soulève le mentonnet K également en fonte ; ce mentonnet peut être fixé sur la flèche à différentes hauteurs au moyen des coins *b*, ce qui permet de faire varier à volonté la hauteur de chute.

Le minerai à traiter, mélange de tous les minerais de bocards venant du cassage, du scheidage ou des cribles, sans distinction de grosseur, est versé dans la trémie L et tombe dans l'auge inclinée M qui le conduit sous les flèches; pour que le chargement soit automatique, on dispose sur l'auge la pièce inclinée N terminée par le buttoir *c*. Lorsque la flèche tombe au fond de l'aube du bocard, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a plus de minerai à broyer, le contre-mentonnet K_1 vient frapper sur le buttoir *c* qui transmet le choc au couloir M, et le minerai que contient celui-ci tombe sous les flèches. Les montants A sont espacés de façon qu'il y ait trois flèches entre eux. Pour chaque système de trois flèches, il y a un couloir tel que M; c'est la flèche du milieu qui agit sur la pièce N.

Cette disposition très-simple permet de rendre l'appareil complétement automoteur. Mais pour que le couloir M ré-

siste bien aux chocs qu'il reçoit ainsi en porte-à-faux, il est indispensable de le tailler dans un arbre entier; on ne pourrait le former de planches assemblées.

L'eau qui alimente le bocard vient du chenal O par les conduits *d*.

Le minerai bocardé est entraîné par le courant d'eau à travers la toile métallique, et tombe dans le chenal P au moyen des robinets *f* que l'on ouvre plus ou moins pour régler à volonté la consommation de l'eau.

Chaque flèche armée de son sabot pèse de 50 à 60 kilogrammes; la hauteur de chute est de 24 à 26 centimètres. Une flèche peut bocarder de 550 à 650 kilogrammes de minerai en vingt-quatre heures.

La *fig.* 5, Pl. VIII, montre la coupe transversale du bâtiment des bocards. Le minerai est amené dans des wagons sur le petit chemin de fer *g* situé sur le plancher supérieur de l'atelier; les wagons sont directement culbutés dans la trémie prismatique L qui règne tout le long du bâtiment, et qui est à double pente de manière à desservir deux files de bocards symétriques. Un treuil *h* fixé à la charpente du toit permet d'enlever les flèches facilement.

Cette disposition, adoptée à l'Anna Pochwerk, me paraît très-recommandable toutes les fois que, comme là, on a à installer un grand nombre de flèches. Avec le chargement automatique, deux hommes suffisent alors pour diriger un atelier de 120 flèches.

IV. — DÉBOURBAGE ET CLASSEMENT EN GROSSEUR.

Menus. — Le débourbage et le classement des menus se font à Przibram d'une façon différente suivant les ateliers.

A l'Anna Waschwerk, le minerai tombe sur une série de grilles et de tôles étagées, arrosées d'un fort courant d'eau; des gamins armés de balais le remuent sur ces grilles et ces tôles, et forcent ainsi les matières les plus fines à les

traverser. Certes, le débourbage ainsi opéré est on ne peut plus énergique ; mais malgré cet avantage il ne me paraît pas devoir être recommandé, car il exige beaucoup trop de main-d'œuvre.

A l'Adalberti Waschwerk, les menus sont en partie donnés à un débourbeur tronc-conique, puis versés sur un *rätter* à sept tôles consécutives de

22 — 16 — 12 — 9 — 6 — 4 et 2 millimètres,

qui les partage ainsi en huit catégories de grosseur.

L'autre partie est versée sur une grille de 32 millimètres. Ce qui traverse cette grille se rend à un débourbeur suivi d'un trommel de 9 millimètres.

Les deux classes qui résultent de ce trommel vont séparément à deux trommels à trois tôles de

12 — 16 — 22 millimètres
et de 2 — 4 — 6 millimètres.

Le classement est le même que celui produit par le rätter.

Au Stefan Waschwerk, les minerais sont versés à un débourbeur représenté par la *fig.* 6, Pl. VIII. Ce débourbeur est construit en bois doublé à l'intérieur d'une feuille de tôle et garni de cornières longitudinales A. Un appareil construit dans les mêmes dimensions et entièrement en tôle n'a pas résisté ; le bois garni de tôle résiste au contraire très-bien.

A l'extrémité du débourbeur se trouve un deuxième tronc de cône de pente inverse et garni intérieurement de trois cornières B disposées en spirale, faisant chacune un tour entier, et destinées à remonter le minerai pour le faire sortir de l'appareil. Le tout est consolidé par des cercles de fer à l'extérieur et garni de deux couronnes de fonte C et C_1, destinées à rouler sur les galets qui supportent le débourbeur et lui communiquent le mouvement.

Le minerai arrive par l'extrémité D, versé de façon régulière par un distributeur automatique analogue à celui qui est adapté aux cylindres broyeurs.

Le débourbeur est suivi de quatre trommels étagés dont les *fig.* 7 et 8, Pl. VIII, indiquent la disposition. Le premier de ces trommels (*fig.* 7) est entouré d'une grille dont les barreaux sont espacés de 22 millimètres. Les trois autres ont chacun deux tôles de

16 et 12 millimètres pour le deuxième,
9 et 5 millimètres pour le troisième.
et 4 et 2 millimètres pour le quatrième.

Chacun d'eux porte en outre une double enveloppe en tôle continue dans laquelle tombent les matières qui ont traversé les trous les plus petits du trommel; cette tôle est percée de grandes ouvertures D qui déversent le minerai dans le trommel suivant.

Le classement produit par cet appareil est mixte et analogue à celui d'Angleur, en Belgique (*).

Les enveloppes de ces trommels sont fixées à des couronnes de fonte A, garnies de couronnes en bois et reliées par des bras de fer B à des moyeux en fonte C fixés sur l'arbre. Ce dernier a une pente d'environ 13 p. 100 dans le sens AA_1; pour éviter la fatigue des tourillons et des coussinets que cette disposition amènerait, la dernière couronne A_1 porte un boudin qui s'engage dans la gorge d'une poulie-galet E sur laquelle roule le système.

Pour donner plus de solidité au premier trommel, on a donné à la section des couronnes la forme de T, comme l'indique la *fig.* 7.

La *fig.* 9, Pl. VIII, est un diagramme indiquant la transmission du mouvement aux différents trommels. L'arbre moteur A fait mouvoir les galets du débourbeur B au

---

(*) Mémoire cité, page 309.

moyen des roues d'angle *a*, et l'axe C au moyen des roues *b*. Cet axe C met en mouvement les arbres D des quatre trommels au moyen des roues d'angle *c*. Enfin l'axe B fait mouvoir l'arbre E du distributeur au moyen des roues *d*.

Les diamètres des transmissions sont tels que

L'arbre moteur	A fait	75	tours par minute;
Les arbres	B. font	50	*id.*
Les arbres	D font	60	*id.*
L'arbre	E fait	25	*id.*
Et le débourbeur lui-même fait		8	*id.*

Minerais broyés.—Les minerais broyés sont actuellement classés sur des rätters secs placés à la suite des broyeurs et ayant seulement deux tôles de

6 — 3 millimètres.

Le refus de la tôle de 6 millimètres retourne au broyeur, de sorte que les minerais broyés sont finalement divisés en deux classes seulement

de 0 à 3 millimètres et de 3 à 6 millimètres.

Les appareils classeurs du nouveau broyeur seront des trommels, comme on l'a vu plus haut; mais le classement sera le même.

V. — Traitement des grenailles.

Menus. — Les menus classés sont divisés en deux grandes catégories, savoir :

1° Grenailles (*grobe körner*, *mittele körner*)	classes de 2 à 4, 4 à 6, 6 à 9, 9 à 12, 12 à 16 et 16 à 22 millimètres.
2° Matières fines (*feine körner*, *schlämme*)	classe de 0 à 2 millimètres.

Les grenailles sont traitées sur des cribles continus. Dans les ateliers, on rencontre encore différentes machines à cribler, telles que le *setzherde* (crible continu à piston laté-

ral, et dont le tamis reçoit des secousses longitudinales) (*), la *setzpumpe* (crible continu à tamis fixe, dont le piston est placé directement sous le tamis) et les cribles à piston latéral et à tubes d'évacuation avec un ou plusieurs tubes pour chaque tamis. Mais tous ces appareils vont disparaître rapidement pour être remplacés par les nouveaux cribles continus à grenailles (*mittelkorn-* et *grobkornsetz-maschine*) dont un grand nombre déjà fonctionnent. Le but à atteindre était de pouvoir cribler d'une manière continue de grosses grenailles en dépensant très-peu d'eau, tout en conservant une forte production. Les nouveaux cribles remplissent très-bien cette triple condition. Je vais donner la description complète de la mittelkornsetzmaschine représentée par les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. IX.

L'appareil est à deux tamis consécutifs A et A_1; les pistons P et P_1 sont latéraux.

Le fond de chaque tamis est formé d'une tôle B percée de trous, supportée par une treillis C composé de lames de fer placées de champ et maintenue en place par un cadre de pièces de bois *a*. Cette tôle a une légère pente dans le sens du courant des matières, comme l'indique la *fig.* 1. Vers l'extrémité de chaque tamis, se trouvent le manchon D et le tube E d'évacuation des matières riches. Le tube est fixe; il traverse le fond du tamis et la caisse en bois de l'appareil, et va déverser les matières riches dans un baquet F. Le manchon est suspendu au moyen de la vis *b* à la traverse en fer G; en le rapprochant ou en l'éloignant du fond, on fait varier à volonté l'épaisseur de la couche considérée comme riche, et par suite la richesse du minerai préparé (**).

Le piston est de grandes dimensions; c'est pourquoi il

(*) Le setzherde a été décrit dans le mémoire de M. Matrot, ingénieur des mines (*Annales des mines*, 6e série, t. XII, 1867).

(**) Mémoire cité, page 322.

est supporté par deux bielles H auxquelles il est réuni par les articulations *c*; ces bielles sont adaptées à des excentriques I qui produisent le mouvement alternatif du piston, mais d'une façon tout à fait symétrique, c'est-à-dire que pour un même point de la course, la vitesse ascendante et la vitesse descendante sont égales; pour que cette dernière fût plus grande, il faudrait remplacer les excentriques par des coulisses différentielles ou des mécanismes équivalents (*), ce qui compliquerait un peu l'appareil.

L'arbre moteur K, sur lequel sont adaptés les excentriques, tourne dans des coussinets supportés par des fermes de fonte L; ces dernières sont assujetties à la caisse au moyen des boulons *d*.

Les grenailles à cribler sont chargées dans la trémie M dont le fond mobile N reçoit des chocs alternatifs sous l'action de la came *f* et du ressort *g*; c'est une distribution analogue à celle des broyeurs. Le mouvement est transmis directement de l'arbre moteur à l'axe de la came au moyen d'une courroie tordue.

L'eau nécessaire à l'appareil arrive par le tuyau O.

Pour régler la sortie de l'eau qui entraîne les matières riches dans le tube E, on adapte à l'extrémité de ce dernier un anneau *h* supportant une plaque bombée *i* que l'on peut rapprocher ou éloigner à volonté de l'orifice.

Pour nettoyer les caisses et enlever les matières fines qui passent à travers les tôles des tamis, on soulève de temps à autre les soupapes *k* au moyen des tringles à poignée *l*; ces matières fines s'écoulent dans les auges en bois Q où elles sont recueillies.

Les manchons D sont réglés de telle sorte que tout ce qui s'échappe du second tamis par dessus le déversoir R puisse être considéré comme stérile et rejeté comme tel. Ce stérile tombe dans la caisse en fonte S; l'eau déborde

(*) Mémoire cité, page 320.

par dessus et tombe dans la caisse à jour S_1, dont les trous sont plus petits que les grenailles traitées, de sorte que si ces dernières sont en partie entraînées hors de S, elles restent au fond de S_1 et l'eau seule traverse les trous pour se rendre dans la caisse voisine T, où une pompe centrifuge U vient la puiser pour la relever dans le canal V et la rendre par là à l'appareil ; de cette façon, la consommation de l'eau est réduite à ce qui s'échappe par les tubes E. Cette pompe, à axe vertical *m*, est mise en mouvement par le plateau de friction *n* fixé sur l'arbre moteur et entraînant le galet *o*. En faisant monter ou descendre à volonté le galet *o* le long de l'axe *m*, on fait varier la vitesse de rotation de ce dernier et on lui donne la grandeur nécessaire.

Les grenailles stériles sont extraites de la caisse S au moyen de la vis d'Archimède X tournant dans une auge circulaire en fonte, et versées directement dans les wagons par l'ouverture *p*. Cette vis reçoit le mouvement de l'arbre moteur par l'intermédiaire des roues d'angle *q*, de l'arbre auxiliaire *r* et des poulies *s* et *t*.

De cette façon, l'appareil partage le minerai en trois classes, savoir :

Riche, du premier tamis;
Mélangé, du second tamis;
Stérile.

D'ordinaire, la première classe est de la galène à fondre ; la seconde classe se compose de mélangés qui doivent repasser tels quels au même appareil, ou être broyés ou bocardés pour être traités ultérieurement.

Un tel appareil peut cribler en une heure de 9 à 15 quintaux métriques de minerai, suivant la grosseur des grenailles (*).

(*) Voir, pour les détails, le tableau donné plus loin, page 282, indiquant les chiffres principaux relatifs au fonctionnement des divers appareils.

Minerais broyés. — La classe de 3 à 6 millimètres des minerais venant des broyeurs est donnée à des cribles du Hartz à trois ou quatre tamis (*feinkornsetzmaschine*), tout à fait analogues à ceux qui sont décrits dans mon premier mémoire, page 334, et dont je ne dirai rien de plus ici. Ces appareils font trois ou quatre classes; généralement la première est de la galène à fondre; les autres classes sont des mélangés divers qui sont ou repassés tels quels sur le même appareil, ou envoyés aux bocards. Ces mélangés renferment la majeure partie de la blende du minerai.

VI. — Traitement des matières fines.

Les matières fines proviennent de trois sources différentes : menus de la mine, minerais broyés, minerais bocardés. Ces trois espèces sont traitées séparément, mais de la même manière; il n'existe de différence que dans les détails. Cependant les matières fines des broyeurs sont quelquefois envoyées directement à l'usine sans traitement; quand on broie certains mélanges de blende et de galène, la farine que l'on obtient est une galène blendeuse qui n'a pas du tout la même composition que le mélange broyé et qu'on ne peut plus traiter sans faire des pertes trop considérables. Le broyage seul fait dans ce cas une séparation due à des différences d'état physique dans les divers minéraux et que l'on ne peut rendre plus complète.

Les matières fines à traiter sont entraînées par un courant d'eau dans une série d'appareils (*spitzlutte* et *spitzkasten*), où se déposent les matières les plus lourdes, tandis que les plus légères continuent leur chemin. J'ai décrit les spitzkasten dans mon premier mémoire, page 345; je décrirai seulement ici les spitzlutte. Les *fig.* 4 et 5, Pl. IX montrent la disposition de l'un de ces appareils.

Il se compose d'une caisse prismatique en bois ABC, dans laquelle le courant des matières arrive en A perpendiculai-

rement à la direction de l'arête du prisme. Une deuxième caisse DEF, semblable à la première, suspendue à l'intérieur de celle-ci par la vis G à la poutre transversale H, force le courant à suivre le chemin laissé libre entre ABC et DEF.

Pendant la descente, tous les grains sont entraînés par l'eau; mais à la remontée en BC, sous l'action du courant qui les porte, ces grains se séparent par équivalence comme dans les appareils à courant d'eau ascendant (*); les uns tombent au fond en I, et sont évacués au dehors par un tuyau en bois, ou plus simplement par un tube de caoutchouc adapté à la base de l'appareil, et dont on relève l'orifice à volonté afin d'établir une vitesse de sortie convenable; cette vitesse dépend en effet de la différence de hauteur qui existe entre cet orifice et le niveau du courant arrivant dans l'appareil. Dans le cas où le tuyau d'évacuation est en bois, comme l'indique la *fig.* 5, il faut ménager des ouvertures *a* qui permettent de le nettoyer s'il s'engorge.

En soulevant ou en abaissant à volonté la caisse intérieure, ce qui se fait au moyen des manivelles *c*, on peut faire varier la section laissée au courant et par suite sa vitesse, de manière à obtenir la séparation désirée; si l'on veut augmenter encore l'intensité du courant ascendant, on peut faire arriver de l'eau pure dans le fond de l'appareil par le tuyau *b*.

Ce que l'eau entraîne se rend à un deuxième appareil semblable au premier, mais de plus grandes dimensions, afin que le courant soit moins fort et puisse y laisser un dépôt.

Généralement on a ainsi trois ou quatre spitzlutte à la suite l'un de l'autre, suivis encore d'une série de spitzkasten, dont les dimensions vont aussi en croissant. On accole quelquefois deux ou trois spitzlutte à côté ou à la suite l'un

---

(*) Mémoire cité, page 346.

de l'autre pour former un seul appareil. Quelquefois aussi, avant de pénétrer dans les spitzlutte, le courant passe dans une série nombreuse de spitzkasten dont l'ensemble forme un appareil nommé *reductionskasten*, et dans lequel toutes les matières se déposent en subissant un premier classement. Les différentes classes ainsi produites se rendent séparément dans des spitzlutte : c'est ce qui a lieu à l'Anna Pochwerk. Presque toujours, les matières qui se déposent dans le premier spitzlutte sont traitées au crible du Hartz à quatre tamis (*mehlsetzmaschine*) faisant :

Galène à fondre ;
Trois classes de mélangés à repasser ;
Stérile.

Il arrive quelquefois à Przibram que les mélangés à repasser sont reversés à l'appareil même dont ils proviennent et au fur et à mesure qu'ils se produisent ; c'est une manière d'agir que l'on a reconnue mauvaise, et partout on a établi ou l'on doit établir des appareils spéciaux pour repasser les mélangés. On comprend en effet que la blende existant dans les mélangés devait, ou bien s'accumuler dans les matières traitées sur le crible, ou se perdre partie dans les stériles, partie dans la galène à fondre ; c'était évidemment le second cas qui se produisait par la force des choses, et la blende était entièrement perdue ou laissée avec la galène.

Les spitzlutte qui suivent le premier, ainsi que les spitzkasten, versent directement leurs produits sur des tables Rittinger. J'ai donné la théorie de ces appareils dans mon premier travail, page 364, et j'ai décrit le mode de construction adopté en Belgique. A Przibram, on a construit des tables en grande partie métalliques ; je vais en donner la description complète.

La table est suspendue à un bâti formé de quatre pièces de fonte AA_1 (*fig.* 1, 3 et 4, Pl. X), fortement assu-

jetties aux fondations, chacune au moyen de trois grands boulons *a*, et réunies deux à deux à leur partie supérieure par une traverse de fonte B. Les pièces A supportent le buttoir C formé de deux fortes pièces de bois ; les pièces A_1 portent les coussinets de l'arbre moteur D.

Au-dessous de la table est fixée une longrine en bois E traversée dans toute sa longueur par un boulon *b* assujetti à l'une de ses extrémités par l'écrou *c*.

C'est par l'intermédiaire de cette longrine que la table reçoit son mouvement. Elle est embrassée à l'extrémité *c* par deux flasques en tôle *d* en forme de fourchette (*fig.* 2). Ces flasques sont assujetties au moyen de boulons *e* et de crampons *f*. Elles sont réunies par une pièce de fer F portant une garniture de bois G sur laquelle vient agir la came H de l'arbre moteur D. Comme on le voit, ce dernier passe entre les deux branches de la fourchette formée par les flasques, et la came se meut entre les flasques elles-mêmes. Dès lors, en agissant sur G, la came entraîne la longrine et la table de droite à gauche.

Le grand boulon *b* se prolonge au-delà de l'extrémité de la longrine E, traverse le buttoir C, et porte à son extrémité la pièce de fonte I s'appuyant sur le ressort J ; ce dernier est fixé au buttoir par l'intermédiaire de la plaque de fonte *g* et des boulons *h* ; il est formé d'une forte lame d'acier roulée en spirale ; il doit être d'une grande puissance ; il agit quand on le comprime. Alors, si la came tire la longrine, la pièce I comprime le ressort qui se détend aussitôt que la came cesse d'agir et entraîne la longrine et la table de gauche à droite. L'extrémité de la longrine, garnie d'une lame de tôle *i*, vient butter contre le buttoir C, et la table éprouve une secousse. Pour guider la pièce I dans ce mouvement, les boulons *h* sont prolongés et passent à frottement doux dans des trous pratiqués dans cette pièce I.

L'appareil est suspendu par des tringles de fer *k* fixées

d'une part à la table au moyen des anneaux *l*, et d'autre part aux potences faisant corps avec les pièces AA_1 au moyen des crochets à vis *m*; en agissant sur les écrous *n*, on allonge ou on raccourcit les suspensions de manière à donner à la table l'inclinaison voulue.

Comme l'indique la *fig.* 4, les tringles de suspension sont obliques; pour empêcher l'action qui résulterait de cette disposition sur les extrémités de la longrine et du boulon longitudinal qui la traverse, on guide la table dans son mouvement par une pièce de bois K qui règne tout le long de son bord supérieur.

La charpente de la table elle-même est formée d'un cadre composé de trois fers à U *o* aux bords supérieurs et latéraux, et d'un fer à T *p* au bord inférieur (*fig.* 5). Ce cadre est partagé en deux parties égales par le fer à T *q*. La longrine lui est assujettie au moyen de deux cornières *r* fixées au bois par des boulons. Le système est consolidé par les cornières et fers d'angle *s* réunis en diagonale par les bandes de fer plat *t*. La table elle-même est en bois recouvert d'une épaisse toile enduite de caoutchouc. Le tout est assujetti à la charpente au moyen des pièces de bois *u* fixées au rebord inférieur des fers à U et à la longrine au moyen des boulons vv_1 et des attaches des anneaux de suspension *l*; le rebord supérieur des fers à U est percé, au droit de ces anneaux, d'ouvertures *x* laissant passer les attaches.

Enfin, près du bord inférieur de la table sont fixés les taquets mobiles qui doivent partager la matière qui s'écoule sur la table en trois classes. Ces taquets sont articulés à une extrémité; ils peuvent être fixés à l'autre au moyen d'une vis de pression. Le plus souvent, pour les empêcher de se déplacer, on se contente de rendre leur articulation suffisamment roide.

Les tables sont généralement disposées dans les ateliers

sur une ou plusieurs rangées ; la *fig.* 6, Pl. X, donne la coupe transversale des fondations d'une de ces rangées. Ces fondations se composent d'un massif de maçonnerie retenu entre deux systèmes de poutres entrecroisées. Au niveau supérieur *a* et au droit des pièces de fonte AA_1 courent deux longrines réunies par une poutre horizontale *c* au droit de chacun des grands boulons. Au niveau *b* des longrines inférieures *f*, le massif est percé d'une galerie longitudinale *g* de laquelle partent, également au droit de chaque grand boulon, de petites galeries transversales *h*. Les grands boulons traversent ainsi les deux systèmes de poutres, et sont retenus au-dessous des longrines inférieures par des clefs en bois *k*.

Lorsque les matières à traiter ne viennent pas directement d'un spitzlutte ou d'un spitzkasten, elles sont versées sur la table au moyen d'un distributeur représenté par les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. XI. Ce distributeur se compose d'une petite table conique A armée de petites lames de tôle *a* placées de champ ; cette table est fixée à un arbre vertical B animé d'un mouvement de rotation. Au-dessus se trouve la trémie sans fond C, dans laquelle on charge les schlamms à la pelle. Dans son mouvement, la table entraîne en dehors de la trémie une portion de la matière que celle-ci contient, et qui s'écoule dans une rigole circulaire D sous l'action d'un courant d'eau venant du tube vertical E. De la rigole D, les schlamms passent dans un trommel F destiné à séparer les matières étrangères qui s'introduisent dans la masse pendant les manipulations dans l'atelier ; ils tombent ensuite dans les deux couloirs G et G_1, desservant chacun la moitié de la table. Ces couloirs conduisent la lavée sur une planche inclinée H garnie de tasseaux de bois qui divisent le courant et le répandent sur la table en forme de lame. L'eau pure vient par le canal I, et se répand sur la planche H par les ouvertures J que l'on peut ouvrir à volonté au moyen des petites vannes *b*. Au

droit de chaque ouverture se trouve aussi un système de tasseaux pour forcer l'eau à se répandre en lame.

Dans le cas où la table est directement alimentée par un spitzlutte ou par un spitzkasten, le tube d'évacuation remplace le couloir G, et il n'est pas besoin de distributeur. On ne conserve que la planche inclinée H et le canal à eau pure I.

Généralement les tables Rittinger font trois classes :

Galène à fondre;
Mélangés à repasser;
Stérile.

Chacune de ces classes se rend dans une rigole spéciale.

L'appareil que je viens de décrire fonctionne très-bien, lorsqu'il est surveillé avec un peu de soin : cette condition n'est pas toujours remplie à Przibram, où les gamins qui le dirigent ne prêtent pas à leur besogne une attention suffisante. D'un autre côté, la toile de caoutchouc se gondole souvent, et la surface de la table n'est plus plane. Or, pour qu'un appareil aussi délicat remplisse bien son but, il faut qu'il soit parfait dans sa construction, et qu'aucun détail devant assurer la régularité de sa marche ne soit négligé. C'est pourquoi les résultats obtenus à Przibram sont moins complets et moins remarquables que ceux que donnent en Belgique les mêmes appareils. Du reste, M. de Rittinger se propose d'adopter les tables de pierre ; il est probable que cette modification aura d'excellents effets.

Pour terminer l'étude particulière des différents appareils employés à Przibram, il ne me reste plus qu'à donner quelques renseignements numériques sur leur fonctionnement ; j'ai réuni tous ces renseignements dans le tableau qui suit :

Appareils.		Dimensions des matières traitées.	Amplitude de la secousse.	Nombre de secousses par minute.	Eau consommée par minute.	Minerai traité par heure. Volume.	Minerai traité par heure. Poids.	Force absorbée par chaque appareil.
		millim.	millim.		lit.	mèt. cub.	quint. m.	chev.-vap.
Cribles continus à grenailles.	Grobkorn-Setzmaschine.	16 à 22	52	120	37	1,110	15,0	1
		12 à 16	40	160	37	1,000	13,5	
	Mittelkorn-Setzmaschine.	9 à 12 6 à 9	40	160	37	0,814	11,0	
		4 à 6	26,5	160	27	0,630	8,5	
Cribles du Hartz.	Feinkorn-Setzmaschine.	3 à 6 2 à 4	13	150 à 180	110	0,222 à 0,333	3,0 à 4,5	
	Mehl-Setzmaschine.	< 2 < 3	4,4 à 6,6	200	110	0,092	1,25	
Tables Rittinger.	Gros. .		20	240 (1)	74	0,185	2,25	1/2 à 3/4
	Moyen.		13	240	74	0,092	1,25	
	Fin. . .		13	240	74	0,055	0,75	
	Gros. .		20	180	74	0,148	2,0	
	Moyen.		13	180	74	0,074	1,0	
	Fin. . .		13	180	74	0,037	0,5	
Bocards (1 flèche).		»	240 à 266	»	15	»	0,28	2/3
Débourbeur et trommels.		»	»	»	74	»	» (2)	5 à 6

(1) Les tables à 240 secousses par minute donnaient un travail irrégulier ; on a réduit ce nombre à 200 au maximum.

(2) Pendant l'année 1871, le débourbeur du Stefan Waschwerk a traité 17.726 tonnes de minerai.

Avant de passer à la description des ateliers, je vais dire quelques mots d'une machine électro-magnétique essayée pour la séparation du fer carbonaté et de la blende, séparation qu'il est très-difficile de réaliser avec les appareils ordinaires. Cette machine est représentée par les *fig.* 6 et 7, Pl. IX.

Le mélange de blende et de fer carbonaté est d'abord soumis à un grillage qui transforme la blende en oxyde de zinc et le fer carbonaté en oxyde magnétique attirable à l'aimant. Il est ensuite versé au moyen de la trémie A sur une toile sans fin B, enroulée sur les deux cylindres C et C_1, et qui l'amène au-dessous d'un fort électro-aimant D, se mouvant perpendiculairement à la longueur de la toile sans fin sous l'action de la bielle E. Au moment où l'électro-

aimant est au-dessus de la toile, le courant passe, le fer doux s'aimante et l'oxyde magnétique est attiré; dès que son mouvement l'a amené en dehors de la toile, le courant cesse, le fer se désaimante, et l'oxyde attiré et retenu par la plaque F retombe, et ainsi de suite. En plaçant deux électro-aimants solidaires D et D_1 de telle sorte que, quand l'un est au-dessus de la toile et agit, l'autre soit à côté et à l'état neutre, on aura un appareil continu et pour ainsi dire à double effet.

L'oxyde de zinc reste seul sur la toile et est entraîné avec elle.

Pour produire l'alternative d'action et d'état neutre dans les électro-aimants, voici quelle est la disposition adoptée :

Les bobines sont portées sous un chariot qui roule sur deux rails *a*, et qui passe au-dessous d'une pièce de bois G parallèle aux rails; cette pièce est garnie sur une partie de sa longueur de deux lames de métal conducteur *b* communiquant avec les deux pôles d'une pile et isolées l'une de l'autre par la pièce G elle-même. Au-dessus de chaque électro-aimant se trouvent deux petites lames à ressort *c* qui communiquent avec les deux extrémités du fil des bobines et qui, dans le mouvement du chariot, viennent frotter contre les lames conductrices *b*. Quand elles sont en contact avec *b*, le courant passe et l'électro-aimant agit; quand le mouvement les amène au-delà des extrémités de *b*, le courant ne passe plus. La lame *c* étant fixée au milieu de la longueur de l'électro-aimant, on voit qu'il suffit que les lames *b* soient prolongées de part et d'autre de la toile sans fin d'une longueur égale à la moitié de celle de chaque électro-aimant.

Le mouvement est communiqué à l'arbre H, qui le transmet à la toile sans fin par les roues *d*, et à l'axe I par le galet de friction *f* entraînant le plateau J. Cet axe I fait mouvoir E au moyen de la bielle *h* et de la manivelle *g*.

Lors des essais qui ont été faits, cette machine a bien

fonctionné; elle produit une séparation nette et peut traiter jusqu'à 150 kilogrammes de minerai par heure. On se propose de l'adopter lorsqu'on traitera pour zinc les résidus blendeux.

DEUXIÈME PARTIE.

L'ensemble des ateliers de préparation (*Anlage*) desservant un ou plusieurs puits se compose à Przibram de trois parties :

1° Le *waschwerk*, qui reçoit tous les minerais, gros et menus. C'est là que se font le cassage, le scheidage et le traitement complet des menus ;

2° Le *quetsche*, qui se compose des broyeurs et des appareils traitant les produits de ces broyeurs. Il reçoit du waschwerk les minerais à broyer provenant du scheidage et du traitement des menus ;

3° Le *pochwerk*, qui se compose des bocards et des appareils traitant les minerais bocardés. Il reçoit du waschwerk les minerais de bocards du scheidage et du traitement des menus, et du quetsche les mélangés à bocarder du traitement des minerais broyés.

Il existe ainsi à Przibram quatre ateliers complets auxquels on a donné les noms de *Adalberti=*, *Anna=*, *Stefan=* et *Lill Anlage*.

Dans mon premier mémoire, page 378, je disais qu'un atelier de préparation mécanique ne devait plus contenir que cinq types d'appareils : les broyeurs (cylindres et bocards), les trommels classeurs, les cribles, les classeurs à eau et les tables Rittinger; c'est précisément ce qui a lieu à Przibram. Ces appareils y sont disposés par groupes indépendants les uns des autres, mais composés chacun d'un certain nombre d'appareils solidaires et formant un tout

continu. C'est d'après ce principe que se font toutes les modifications en cours d'exécution ou projetées.

Comme on n'était pas gêné pour l'emplacement, on a pu profiter des accidents topographiques du sol, accidents naturels ou causés par les haldes immenses que l'on voit aux abords des puits, pour disposer ces groupes à des niveaux différents et utiliser plusieurs fois, comme force motrice ou comme agent de séparation, l'eau qui arrive au groupe supérieur. Je ne veux pas décrire en détail les dispositions adoptées dans ce but; elles tiennent trop au cas particulier présenté par le relief du sol et le régime des eaux. Il suffira d'indiquer l'exemple de l'un des ateliers, l'Anna Anlage, pour donner une idée exacte de l'ensemble, et montrer comment on pourrait faire de même dans d'autres cas.

I. — Anna Anlage.

La *fig.* 4, Pl. XI, représente l'ensemble de l'Anna Schacht et des ateliers qui en dépendent.

Les minerais sortent du puits A. Les gros sont cassés aux abords du puits et scheidés dans le bâtiment B et aux alentours. Les menus vont au waschwerck C. Les broyeurs et les appareils traitant leurs produits sont installés dans le même bâtiment.

Les minerais de bocards, provenant du scheidage et du traitement des menus et des minerais broyés, sont conduits aux bocards D; les produits de ces bocards sont entraînés dans l'atelier supérieur à schlamms E; les mélangés de E sont finis dans l'atelier inférieur F. Le chemin que suivent ainsi les minerais est toujours descendant; le niveau d'entrée d'un atelier est le même que le niveau de sortie du précédent.

Je ne dirai rien du waschwerk ni du quetsche, qui sont en complète transformation; je parlerai seulement du pochwerk.

Anna Pochwerk. — Les bocards de l'Anna Pochwerk se composent de dix batteries de douze flèches chacune; j'ai indiqué leur disposition plus haut, page 277. L'eau qui les alimente arrive par le canal *a* (*fig.* 4). Ils sont mis en mouvement par une roue hydraulique *b* aidée par une machine de 50 chevaux et par une partie de la puissance d'une turbine *c*, placée dans un puits à une certaine profondeur, et alimentée par l'eau même qui s'échappe de la roue *b*. Cette eau, avant d'arriver à la roue *b* par le canal *d*, a déjà fait mouvoir une autre turbine mettant en mouvement les appareils du waschwerk.

Les produits des bocards sont entraînés dans l'atelier supérieur à shclamms E par les canaux *f* et arrivent dans un reductionskasten formé de six rangées de six caisses chacune (*fig.* 5, Pl. XI) (*).

Ce qui se dépose dans les caisses 1 va directement à un crible du Hartz à quatre tamis A (**), et qui fait :

> Galène à fondre;
> Trois classes de mélangés à repasser;
> Stérile.

Ce qui se dépose dans les caisses 2 va à un spitzlutte S_1 versant ses produits riches dans le crible du Hartz B qui travaille comme A. On doit installer entre A et B un troisième crible du Hartz destiné à traiter les mélangés des deux premiers; jusqu'ici, ces mélangés sont rendus à l'appareil dont ils proviennent au fur et à mesure qu'ils se produisent.

Les produits pauvres du spitzlutte S_1 se réunissent à tout ce qui se dépose dans les caisses 3, 4, 5 et 6 du reductions-

---

(*) La *fig.* 5 ne représente que la moitié de l'atelier, qui est composé de deux parties symétriques.

(**) Les cribles du Hartz de Przibram sont de plus grandes dimensions que ceux que j'ai décrits dans mon premier mémoire; les tamis ont 90 centimètres de long sur 40 centimètres de large. Les pistons ont une surface égale à celle des tamis. La hauteur de l'eau au-dessus du fond du tamis est de 18 centimètres.

kasten, et vont à une série formée de trois spitzlutte S_2, S_3, S_4, et de trois spitzkasten S'_1, S'_2, S'_3. Ce qui s'échappe de S'_3 se rend dans le bassin de dépôt *i* de l'atelier inférieur à schlamms F (*fig.* 4).

Les matières qui se déposent dans les spitzlutte S_2, S_3, S_4 (*fig.* 5) se rendent sur les tables Rittinger R_1, R_2, R_3. De même, les spiszkasten S'_1, S'_2, S'_3 desservent chacun l'une des tables R_4, R_5, R_6 ; pour ces dernières, chaque moitié est alimentée séparément par les produits de deux des quatre caisses qni composent le spitzkasten.

Ces tables font trois classes :

Galène à fondre;
Mélangés à repasser;
Stérile.

Ces classes se rendent séparément dans les rigoles C, D, E.

Les classes riches se réunissent dans le canal *k*.

Les classes intermédiaires se rendent séparément des rigoles D dans l'atelier inférieur à schlamms F (*fig.* 4) par les canaux *g* ; celles qui proviennent des tables R_1, R_2, R_3 vont aux spitzlutte s_1, s_2, s_3 (*fig.* 6, Pl. XI) ; celles qui proviennent des tables R_4, R_5, R_6 vont aux spitzkasten s'_1, s'_2, s'_3.

Chacun des spitzlutte est desservi par une des tables r_1, r_2, r_3; l'une des moitiés de la table reçoit ce qui se dépose dans le spitzlutte, et l'autre moitié ce qui en sort.

De même, chacun des spitzkasten verse sur les deux moitiés d'une des tables r_4, r_5, r_6 ce qui se dépose dans les deux rangées de caisses dont il est composé. Ce qui s'échappe de ces trois appareils va aux bassins de dépôt *i*. Les boues qui se rassemblent dans ces bassins sont extraites pour être ensuite traitées sur les tables.

Les tables de l'atelier inférieur travaillent comme celles de l'atelier supérieur.

Les produits riches se réunissent dans le canal *k* (*fig.* 4).

Les classes intermédiaires sont retraitées jusqu'à ce qu'elles soient surtout blendeuses, et mises en dépôt pour subir plus tard un traitement pour blende.

Je vais donner ici les dimensions des spitzlutte et des spitzkasten de l'atelier supérieur.

Spitzlutte.

	S_1		S_2		S_3		S_4 (**)
	mèt.		mèt.		mèt.		mèt.
Longueur (*)	0,85	—	1,00	—	1,16	—	1,32
Largeur	0,32	—	0,48	—	0,64	—	0,64
Écartement des deux caisses	0,05	—	0,05	—	0,08	—	0,10

Spitzkasten.

	S'_1		S'_2		S'_3
	mèt.		mèt.		mèt.
Longueur	2,00	—	2,50	—	3,00
Largeur	2,00	—	2,00	—	2,00
Profondeur	0,56	—	0,72	—	0,86

Chacune des trente six caisses qui forment le reductionskasten a une base quarrée de $1^m,32$ de côté et une profondeur de $0^m,37$ (***).

(*) Pour les spitzlutte, j'appelle longueur la ligne AC (*fig.* 4, Pl. IX) et largeur la dimension dans l'autre sens. Cette ligne AC est toujours égale à la ligne AB. Pour les spitzkasten, la longueur est la dimension dans le sens du courant du rectangle formé par l'ensemble des caisses; la largeur est la dimension du même rectangle dans l'autre sens.

(**) S_4 est formé de deux appareils accolés l'un à côté de l'autre et ayant chacun les dimensions indiquées.

(***) Ce reductionskasten est insuffisant pour clarifier complétement les eaux, qui entraînent encore trop de matières dans le bassin *i*; on doit le remplacer par un autre d'une capacité triple, et qui sera construit sur la terrasse entre les bocards D et l'atelier supérieur à schlamms E (*fig.* 4, Pl. XI).

II. — ADALBERTI ANLAGE.

Adalberti Waschwerk. — Les divers ateliers dépendant de l'*Adalberti Schacht* sont disposés d'après le même principe que les précédents. La *fig.* 7, Pl. XI, donne une idée de la partie du waschwerk où se traitent les menus.

Les minerais sont versés à trois débourbeurs D, D_1, D_2.

D est suivi d'un rätter R dont le refus tombe sur la table tournante de klaubage A.

D_1 et D_2 sont suivis chacun par le système de trommels que j'ai décrit page 279. Les refus sont klaubés. Ce klaubage se fait sur une série de tables bien éclairées sur lesquelles on peut à volonté faire arriver un jet d'eau pour bien nettoyer les matières. Les minerais sont divisés en plusieurs classes :

Galène massive;
Minerai à scheider;
Minerai à broyer ;
Minerai à bocarder;
Stérile.

Cette division se fait d'après le même principe que celle qui est pratiquée au scheidage.

Les produits du rätter et des trommels sont divisés en sept classes de

0 à 2 — 2 à 4 — 4 à 6 — 6 à 9 — 9 à 12 — 12 à 16 — 16 à 22 millim.

Les deuxième, troisième et quatrième classes vont aux cribles continus à grenailles (mittelkornsetzmaschine) M, M_1, M_2.

La cinquième classe se rend à un crible C à deux tamis et à quatre tubes d'évacuation faisant cinq classes :

Galène à fondre;
Blendeux à scheider;
Blendeux à broyer;
Blendeux à bocarder;
Stérile.

Les sixième et septième classes vont aux cribles continus à grenailles (grobkornsetzmaschine) G et G_1.

La sixième classe du rätter va seule à un setzherde S faisant trois classes :

> Riche à repasser (*);
> Mélangés à broyer;
> Stérile.

Avant d'être rejeté, le stérile est soumis à un klaubage rapide.

Les cribles continus à grenailles travaillent comme il a été dit plus haut, page 284. On doit encore en installer trois autres pour remplacer les appareils C, C_1 et S, de sorte que le groupe d'appareils traitant les grenailles des menus ne se composera plus que de deux types, les classeurs et les cribles continus à grenailles.

La classe de 0 à 2 millimètres est entraînée dans l'atelier à schlamms du waschwerk ; cet atelier est disposé comme ceux que j'ai décrits pour l'Anna Pochwerk ; je n'en dirai rien de plus.

Adalberti Quetsche. — L'atelier de broyage se compose de trois broyeurs A, B_1 et B_2.

— A broie les minerais provenant du scheidage; il est suivi d'un rätter sec à deux tôles de 3 et 6 millimètres. Le refus est remonté par une roue à godets et repassé au même appareil.

— B_1 broie les blendeux du klaubage; il est suivi d'un rätter sec à trois tôles de

3 — 6 — 12 millimètres.

Le refus est rendu au même appareil.

La classe de 6 à 12 millimètres est passée au broyeur B_2.

(*) Cette classe est finie sur le crible C_1 à deux tamis mobiles et munis chacun d'un seul tube d'évacuation.

La classe de 3 à 6 millimètres est traitée sur un crible du Hartz.

Enfin la classe de o à 3 millimètres est de la farine blendeuse à 30 p. 100 de plomb, et qui est envoyée à l'usine sans autre traitement.

— Le broyeur B_2 est suivi d'un rätter sec à deux tôles de 3 et 6 millimètres.

La classe de 3 à 6 millimètres est traitée au crible du Hartz.

La classe de o à 3 millimètres est envoyée à l'usine comme celle de B_1.

Les refus sont remontés par une roue à godets et versés au même appareil.

— Avant d'être données aux cribles du Hartz, les classes de 3 à 6 millimètres de B_1 et de B_2 sont mélangées avec les produits du broyeur A, et passent dans un spitzkasten à courant d'eau ascendant qui sépare les schlamms; le courant d'eau entraîne ces derniers dans l'atelier à schlamms desservant les broyeurs.

Les cribles qui traitent les produits déposés dans le spitzkasten à courant d'eau ascendant sont à trois tamis seulement et font quatre classes, savoir :

Galène à fondre;
Mélangés à repasser au même appareil;
Mélangés à bocarder;
Stérile.

Adalberti Pochwerk. — Il se compose de quatre batteries de douze flèches chacune : sa disposition est la même que celle de l'Anna Pochwerk.

L'atelier à schlamms est également construit d'après le même principe que celui de l'Anna Pochwerk; je n'en dirai rien de plus.

Pour compléter la description des ateliers de Przibram, il faudrait encore parler du *Stefan-* et du *Lill Anlage*, ainsi

que du bocard de *Thinfeld.* Mais ces ateliers ne diffèrent pour la plupart des précédents que par quelques détails ; je dirai seulement qu'à l'atelier à schlamms du bocard de Thinfeld on n'a pas encore remplacé les anciennes tables à secousses ordinaires.

III. — Renseignements statistiques.

Le tableau suivant donne les poids et les teneurs moyennes en plomb et en argent des minerais traités et des produits obtenus dans les divers ateliers de Przibram pendant l'année 1871.

ATELIERS.	MATIÈRES TRAITÉES.			PRODUITS OBTENUS.			
	Quantités traitées.	Teneur en plomb pour 100.	Teneur en argent pour 1.000 kilogr.	Quantités produites.	Teneur en plomb pour 100.	Teneur en argent pour 100 kilogr.	Teneur en argent pour 100 kilogr. de plomb.
	tonnes.		gram.	tonnes.		gram.	gram.
Adalberti Waschwerk. . . .	58.290	1,066	67	953,5	64,75	413	638
» Quetsche.	5.543	8,370	566	743,9	62,25	373	600
» Pochwerk.	2.194	0,637	51	52,5	26,50	213	803
Anna Waschwerk.	46.227	0,557	32	423,6	59,50	344	578
» Quetsche.	2.673	6,555	377	280,2	62,50	359	574
Anna et Thinfeld Pochwerk.	5.453	0,800	65	171,5	25,50	210	823
Stefan Waschwerk.	17.726	0,415	9	138,1	53,25	126	236
» Quetsche.	2.172	5,650	98	174,1	71,50	127	177
» Pochwerk.	3.332	0,760	16	75,5	33,50	70	209
Lill Waschwerk.	7.215	0,167	5	42,1	28,25	93	329
» Quetsche.	506	8,697	143	68,4	64,00	105	164
				3123,4			

Ces chiffres montrent nettement que la richesse en argent augmente beaucoup avec la profondeur de la mine. En effet, le Lill Schacht et le Stefan Schacht ne sont encore qu'aux niveaux supérieurs et donnent des plombs avec une teneur variable de 160 à 240 grammes aux 100 kilogrammes ; tandis que l'Anna Schacht et l'Adalberti Schacht qui exploitent dans les horizons inférieurs, produisent des plombs tenant jusqu'à 800 grammes aux 100 kilogrammes.

Les chiffres montrent aussi que dans ces derniers puits,

c'est la galène finement disséminée qui est la plus argentifère ; les plombs extraits des minerais de bocards tiennent en effet plus de 800 grammes d'argent aux 100 kilogrammes, malgré la perte énorme qui résulte toujours du bocardage et du lavage de la galène argentifére(*), tandis que ceux qui proviennent des minerais du waschwerk ou du quetsche ne dépassent pas 640 grammes.

Depuis 1871, les ateliers de Przibram se sont modifiés ; l'Anna Pochwerk ne fonctionne en effet que depuis la fin de juin 1872. Aussi les chiffres du tableau qui précède ne représentent plus exactement ce que peuvent faire ces ateliers. La teneur en plomb des minerais des pochwerks notamment n'est plus aujourd'hui inférieure à 50 p. 100, excepté au Thinfeld Pochwerk où les tables à secousses ordinaires ne permettent pas de dépasser beaucoup 25 p. 100 sans donner lieu à des pertes trop considérables.

L'emploi général des tables Rittinger doit permettre aussi de séparer presque complétement la blende, ce qui ne pouvait être fait jusqu'ici ; la masse totale de minerai livrée à l'usine en 1871, avec une teneur moyenne en plomb de 57,6 p. 100, renfermait encore de 8 à 9 p. 100 de blende, proportion très-gênante dans le traitement métallurgique. Il est vrai qu'on est placé ici entre deux écueils : si l'on veut séparer complétement la blende et enrichir le minerai, on fait des pertes dans la préparation ; si l'on ne sépare pas la blende, on fait des pertes dans le traitement métallurgique ; il faut donc se tenir dans un juste milieu.

Le tableau n'indique pas non plus exactement tout ce que la préparation peut retirer des minerais livrés aux waschwerks pendant l'année. En effet, chaque atelier à

(*) On a fait à ce sujet, à Przibram, une expérience concluante : on a pulvérisé la galène massive préalablement essayée ; on l'a soumise à un lavage prolongé ; on a constaté que les essais faits ensuite donnaient une teneur en argent d'autant plus faible que le lavage avait été plus prolongé et la pulvérisation plus complète.

ses dépôts de minerai à traiter et de minerai à livrer à l'usine; de sorte que par exemple le waschwerk envoie dans une période donnée au quetsche et au pochwerk plus ou moins de minerai qu'il n'en produit pour ces deux ateliers; de même le questche et le pochwerk traitent dans la même période plus ou moins de minerai qu'ils n'en reçoivent. Ainsi, le tableau suivant résume le travail du mois de juin 1872.

ATELIERS.	MATIÈRES traitées.	MATIÈRES LIVRÉES		
		à l'usine.	au Quetsche.	au Pochwerk.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Adalberti-Waschwerk..	5.637	99,1	141	258
» Quetsche. . .	593	57,5	»	594
» Pochwerk.. .	955	17,8	»	»
Anna Waschwerk. . . .	5.890	17,7	122	179
» Quetsche. . .	268	21,2	»	152
» Pochwerk.. .	» (1)	»	»	»
Thinfeld Pochwerk. . .	815	20,8	»	»
Stefan Waschwerk. . .	1.901	21,0	140	162
» Quetsche. . .	191	33,4	»	126
» Pochwerk.. .	361	7,7	»	»
		276,2		

(1) L'Anna Pochwerk ne fonctionnait pas encore.

Le tableau suivant donne les salaires, pour une journée de douze heures, des différentes catégories d'ouvriers employés à la préparation mécanique de Przibram.

	1re CLASSE.	2e CLASSE.	3e CLASSE.
	francs.	francs.	francs.
Mécaniciens.	2,50	2,30	2,10
Broyeurs. — Hommes.	2.20	2,00	1,80
Broyeurs. — Jeunes gens.	1,00	0,90	»
Cribleurs.	2,00	1,80	1,60
Apprentis cribleurs.	1,40	1,20	1,00
Bocardeurs	2,10	1,90	1,70
Aides-bocardeurs.	1,50	1,40	»
Rouleurs.	1,70	1,40	1,20
Idem.	1,00	0,90	»
Surveillant de l'atelier à schlamms. . .	2,10	»	»
Ouvriers de l'atelier à schlamms. — Vieux.	1,90	1,80	1,70
Ouvriers de l'atelier à schlamms. — D'âge moyen.	1,50	1,40	1,30
Ouvriers de l'atelier à schlamms. — Jeunes gens.	1,20	1,10	1,00
Ouvriers de l'atelier à schlamms. — Gamins.	0,90	0,80	0,70
Gamins pour le klaubage.	0,60	0,50	0,40

Novembre 1872.

NOTICE

SUR LES APPAREILS A AIR CHAUD.

Par M. L. GRUNER,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES.

On se sert du vent chaud depuis quarante ans; mais jusqu'en 1860 ou 1861 on a rarement franchi les limites de 300 à 350° C. Aujourd'hui il est des hauts-fourneaux, dans le Cleveland surtout, dont le vent est porté à 500, 600 et même 800° C. Pour atteindre de pareilles températures, les anciennes conditions des appareils à air chaud ne suffisent plus; il a fallu songer à des dispositions nouvelles.

Le but de la présente notice est de résumer en quelques pages les moyens divers à l'aide desquels ces températures élevées ont pû être réalisées.

Tant que la température du vent ne doit pas dépasser 600° C., on peut encore se servir d'appareils *en fonte*, pourvu que l'on donne à ces derniers une section et une surface de chauffe suffisamment étendues. Mais lorsqu'on veut atteindre 7 à 800 degrés, il faut de toute nécessité avoir recours aux appareils en terre réfractaire, fondés sur le principe des fours Siemens à chaleur régénérée; ce sont, quant à présent, les appareils *Cowper-Siemens* et *Whitwell*.

Nous allons examiner successivement les conditions essentielles des trois systèmes.

I. — APPAREILS EN FONTE.

Lorsqu'on n'a à chauffer que de faibles quantités de vent, 20 à 30 mètres cubes, par exemple, par minute et par

de n, quel rapport il faut établir entre d et D, pour que la perte de pression demeure la même dans les deux cas.

Posons

$$\frac{D}{d} = m, \qquad \text{d'où} \qquad l = \frac{m}{n} L.$$

L'expression (3) deviendra

$$\frac{l}{d^5} = \frac{\frac{m}{n} L}{\left(\frac{D^5}{m^5}\right)} = \frac{m^6}{n} \frac{L}{D^5}.$$

Par conséquent, pour que $\frac{l}{d^5}$ soit égal à $\frac{L}{D^5}$, il faut que

$$\frac{m^6}{n} = 1, \qquad \text{ou } m = \sqrt[6]{n}.$$

Bien souvent, dans les appareils à air chaud, ceux de Calder, par exemple, on donne à n une valeur comprise entre 8 et 12. Supposons donc

$$n = 10.$$

On aura

$$m = \sqrt[6]{10} = 1,468\ ;$$

d'où

$$d = \frac{D}{1,468} = 0,681 D, \qquad \text{et} \qquad l = 0,1468 L.$$

Toutes les fois que d sera plus faible que la valeur que nous venons de trouver, et l plus grand que 0,1468 L, la perte de pression sera plus forte dans l'appareil à tuyaux divisés que dans celui à tuyau unique. Nous verrons bientôt quels sont, parmi les appareils ordinaires, ceux qui offrent la moindre résistance au mouvement de l'air.

D'après ce qui précède, la première condition à remplir pour avoir un appareil à air chaud convenablement établi, est de donner aux conduits une section assez grande pour que la vitesse du vent n'y dépasse pas certaines limites.

A l'origine, dans les appareils à tuyau unique, cette vitesse atteignait souvent, mesurée *à froid*, 20 à 25 mètres par seconde, soit 30 à 35 mètres dès que le vent se trouvait chauffé vers 150 à 180° C. C'est trop ; la perte de pression est alors considérable. Lorsqu'on veut chauffer le vent jusqu'à 300 degrés, on ne devrait jamais aller au delà de 10 mètres (*à froid*), et même seulement à 5 ou 6 mètres, lorsque la température doit s'élever à 5 ou 600° C.

La deuxième condition est de proportionner la surface de chauffe à la température et à la masse de vent. Au début, les surfaces, comme les sections, étaient insuffisantes. A Wasseralfingen et dans les premiers appareils Taylor, employés en France, on n'avait que $0^{m^2},50$ à $0^{m^2},60$ de surface de chauffe par mètre cube de vent à chauffer par minute, et aujourd'hui encore en Suède, d'après un travail récent de M. R. Ackerman (*), la surface de chauffe n'y dépasse nulle part $0^{m^2},50$; mais aussi, dans ces conditions, on arrive difficilement à 200 degrés, à moins de surchauffer la fonte et de la brûler rapidement.

Pour la température moyenne de 300 degrés, on peut admettre, comme règle, une surface minimum de 1 mètre quarré, par chaque mètre cube à chauffer par minute. C'est le chiffre que j'indiquais, dès 1841, dans mon cours autographié de l'École des mineurs de Saint-Étienne.

On peut constater, en effet, que tous les appareils destinés aux températures de 300 à 350 degrés ont une surface de chauffe de 1 mètre quarré à $1^{m^2},50$. Mais, pour réaliser sans embarras des températures de 500 à 600 degrés, il faut arriver à 4 et même 5 mètres quarrés. C'est le chiffre adopté dans les appareils modernes du Cleveland. Citons quelques exemples :

Au *Pouzin* (1857), pour chauffer le vent à 290°,
on avait 30^{m^2} par 25^{m^3}, soit. . . . . $1^{m^2},20$
par mètre cube ; et une vitesse à froid de . . 13 mètres

(*) *Jern-Kontorets Annaler de* 1871.

A *Givors* (usine de la Rochette), pour 300°, 55$^{m^2}$ par 45$^{m^3}$, soit.	1$^{m^2}$,22 par mèt. c.
A *Bességes*, pour 375°, 100$^{m^2}$ par 70$^{m^3}$, soit. . .	1$^{m^2}$,45
Au *Creusot*, pour 300 à 340°.	1$^{m^2}$,40
A *Ars-sur-Moselle*, pour 250 à 280°.	1$^{m^2}$,30
A *Heinrichshütte* (Siegen), pour 270°.	1$^{m^2}$,07
A *Charlottenhütte* (Siegen), pour 280°.	1$^{m^2}$,25
A *Ulverstone* (Cumberland) (*), pour 370°. . . .	1$^{m^2}$,40

Dans les usines du *Cleveland*, jusqu'en 1864, on n'avait également que 1 mètre quarré à 1$^{m^2}$,60 pour des températures de 300 à 375 degrés. Mais dès lors on força graduellement le chauffage du vent à 425 et 500°, et même, depuis 1867, jusqu'à 560 et 600°; les surfaces de chauffe furent alors portées à 3 et 4 mètres quarrés, puis, en 1867, jusqu'à 5 mètres quarrés. Ainsi, d'après le *Journal of iron and steel institute* (août 1871), on trouve, dans les usines de MM. Bolckow et Vaughan, 980 mètres quarrés pour 180 à 200 mètres cubes de vent, soit 5 mètres quarrés par mètre cube.

D'après le même journal (novembre 1871), les hauts fourneaux d'*Ayresome* reçoivent 150 à 160 mètres cubes chauffés par 800 mètres quarrés, soit 5 à 5$^{m^2}$,30 par mètre cube pour des températures de 600 à 620° C.; et ceux de *Newport*, 200 mètres cubes chauffés par 960 mètres quarrés, ce qui donne 4$^{m^2}$,80 par mètre cube pour une température de 593° C.

La vitesse du vent et la surface de chauffe une fois arrêtées, il faut choisir entre les deux systèmes ci-dessus indiqués : un courant *unique* ou des conduits *multiples*,

(*) La plupart de ces renseignements sont extraits de la *Revue métallurgique sur l'Exposition* de 1867, par M. Jordan, ou des comptes rendus des tournées de ce même ingénieur dans le pays de Siegen et dans le district des Lacs (Cumberland).

ou bien une sorte de système *mixte*. On a surtout recours à ce dernier mode lorsque la masse de vent est considérable, tandis qu'on se sert de l'un des deux premiers systèmes lorsque le volume par minute et par appareil ne dépasse pas 30 mètres cubes.

Les deux appareils types, généralement employés dans ce dernier cas, sont ceux que l'on connaît en France sous les noms d'appareils *Wasseralfingen* et *Calder*, d'après les usines où ils furent d'abord adoptés. Le premier est surtout employé en Suède et en Westphalie ; le second en Angleterre et en France ; on nomme aussi ce dernier type appareil à *siphons*, à *pistolets*, etc., selon les formes particulières des tubes de fonte.

L'appareil de *Wasseralfingen* se compose d'un ensemble de tuyaux horizontaux, reliés par des coudes ; le second, d'une série de tuyaux verticaux, ou fortement inclinés, dont les bouts inférieurs sont implantés dans les tubulures de deux caisses horizontales, dont l'une reçoit l'air froid, tandis que l'autre sert de réceptacle au vent qui vient de se chauffer dans les tuyaux divisés.

Comparons les deux systèmes au point de vue de la perte de pression, en nous servant des formules ci-dessus développées. Prenons comme exemples les appareils anciens des deux usines voisines du *Pouzin* et de la *Voulte*, dont les surfaces de chauffe étaient à peu près les mêmes, c'est-à-dire d'environ 30 mètres quarrés par 25 mètres cubes de vent, par appareil et tuyère.

Au Pouzin, on se servait du système Wasseralfingen à conduit *unique*, formé de dix-huit tuyaux horizontaux de deux mètres de longueur chacun sur $0^m,20$ de diamètre intérieur ; ce qui donne :

$$D = 0^m,20,$$
$$L = 36^m,00.$$

A la Voulte, on faisait usage de l'appareil Calder à neuf

siphons verticaux de 7 mètres de longueur et $0^m,10$ de diamètre intérieur; d'où

$$d = 0^m,10,$$
$$l = 7^m,00,$$
$$n = 9.$$

Or, d'après le diamètre et le nombre des tubes, la vitesse du vent était, dans ce dernier appareil, les $\frac{4}{9}$ de celle du Pouzin, et pourtant la perte de pression y est plus considérable. Pour qu'elle fût la même, le rapport $m = \frac{D}{d}$ eût dû être, non de 2, comme il l'est en réalité, mais égal à $\sqrt[6]{n}$, c'est-à-dire $= \sqrt[6]{9} = 1,442$; par suite d, au lieu de mesurer $0^m,10$, eût dû recevoir $\frac{D}{m} = \frac{0^m,20}{1,442} = 0^m,14$. Le diamètre des siphons est, d'après cela, relativement faible, et surtout trop exigu dans les usines, où l'on trouve des tubes n'ayant que $0^m,07$ à $0^m,08$ de diamètre intérieur. A vitesse égale, le chauffage est sans doute d'autant plus énergique que le périmètre est plus grand relativement à la section, mais, à cause de la perte de pression, il faut pourtant éviter les sections trop faibles. En donnant aux siphons un diamètre de $0^m,14$ au lieu de $0^m,10$, on réduirait en même temps la longueur l, si du moins on veut conserver invariables la surface de chauffe et le poids de la fonte. L'expression $l = \frac{m}{n} L$ donne $\frac{1,442}{9} \times 36 = 5^m,768$, au lieu de 7 mètres.

On voit donc, en résumé, qu'au point de vue de la perte de pression, ou de la résistance à vaincre, le système des tuyaux *multiples* ne doit être préféré que si l'on donne à ces derniers des diamètres plus forts que ceux dont on s'est servi en général, du moins à l'origine.

Mais, pour apprécier les mérites relatifs des appareils

Wasseralfingen et Calder, il ne suffit pas de considérer la résistance au mouvement ; il faut aussi tenir compte des fuites et des frais d'entretien.

Les tuyaux horizontaux, pour ne pas fléchir sous leur propre poids, ne peuvent avoir au delà de 2 mètres de longueur; il en résulte de nombreux joints, et, par suite, des chances de fuites. Chaque tuyau exige deux joints, soit 36 au Pouzin pour 18 à la Voulte (*). Les appareils à tuyaux horizontaux ne peuvent être chauffés qu'au gaz ; en se servant d'un foyer à houille, les tuyaux de la rangée inférieure seraient promptement brûlés. Enfin les tubes horizontaux ont l'inconvénient de se couvrir plus facilement de poussière, et d'exiger par ce motif des nettoyages plus fréquents. On remédie en partie à cet inconvénient, et l'on augmente en même temps la résistance à la flexion, en donnant aux tubes une section aplatie, le grand axe étant vertical ; c'est la forme généralement adoptée en Westphalie. La forme méplate a aussi l'avantage d'agrandir la surface de chauffe, à vitesse égale de vent. C'est le motif qui l'a également fait adopter dans les appareils à tuyaux multiples, malgré le frottement plus grand qui en résulte.

Deux conditions restent encore à remplir pour avoir un bon appareil à air chaud. Il faut adopter le chauffage *méthodique* et augmenter la section des tuyaux proportionnellement au volume dilaté du vent.

Le chauffage *méthodique*, c'est-à-dire la marche *inverse* des gaz qui chauffent et des corps que l'on veut chauffer, peut être mieux réalisé dans l'appareil Wasseralfingen que dans le système Calder. On fait entrer l'air froid par le tuyau le plus élevé et sortir l'air chaud par le bout le plus voisin du lieu de combustion des gaz. Quant à la section

(*) On sait que dans tous les appareils à air chaud en fonte, on ne peut employer que des joints à *emboîtement*, avec ciment formé d'un mélange de limaille de fonte et d'argile humectée d'acide acétique.

graduée des tubes, on peut facilement la réaliser dans les deux appareils : dans celui de *Wasseralfingen*, en augmentant le diamètre des tuyaux inférieurs, ou en les bifurquant, ainsi que cela se voit dans quelques usines du pays de Siegen; dans celui de *Calder*, en donnant aux siphons un profil légèrement conique. Mais cette double condition du chauffage *méthodique* et des sections *graduées* se réalise surtout bien dans quelques appareils à système *mixte*, dont il me reste à parler.

Dès que la masse de vent à chauffer dépasse 30 mètres cubes par minute, il convient d'adopter le système *mixte*. On divise la masse de vent en 8, 10, 12 parties égales, et l'on chauffe chacune d'elles, soit dans un appareil à tube *unique*, soit dans un ensemble de tuyaux *multiples*.

1° *Appareils mixtes à tube unique.* — Je citerai deux exemples à tube unique. Dans les usines modernes déjà mentionnées du Cleveland, celles d'*Ayresome* et de *Newport*, on a adopté ce premier mode. Le vent se partage entre plusieurs appareils doubles, composés chacun d'une caisse horizontale rectangulaire munie de tubulures. Ces tubulures sont reliées deux à deux par des tubes en ∩, verticaux ou fortement inclinés, à branches parallèles, tandis que dans la caisse horizontale on installe des cloisons respectivement placées entre les deux tubulures d'un même siphon, en sorte que toute la masse d'air est obligée de parcourir successivement, en montant et en descendant, la série entière des tubes en ∩ (Pl. XII, *fig.* 1-2). Par suite, chaque appareil est au fond un système à tuyau *unique*, dont toutes les branches sont verticales ou fortement inclinées. Les siphons sont d'ailleurs à section méplate, pour augmenter la surface de chauffe, mais ces sections restent constantes d'un bout à l'autre de l'appareil, quoiqu'il eût été facile d'appliquer ici le précepte des tubes à section croissante. Une même enceinte renferme deux appareils indépendants et parallèles;

le foyer à gaz est placé entre deux, et du côté par où sort le vent chaud, en vue de réaliser, jusqu'à un certain point, le chauffage méthodique. Mais il est évident que cette condition n'est pourtant remplie, par cette disposition, que d'une façon assez imparfaite.

A l'usine d'Ayresome, il y a six foyers ou douze appareils, de sorte que la masse d'air à chauffer se partage en douze courants distincts, qui ne se confondent que dans le conduit général menant aux tuyères. Chaque siphon a $4^m,80$ de hauteur, ou $9^m,60$ de développement ; un appareil en renferme sept ; par suite, la longueur totale du conduit est de 67 mètres. La section intérieure mesure $0^m,44$ sur $0^m,08$, soit $0^{m^2},0352$. Le périmètre correspondant est de $1^m,04$, ce qui donne comme surface de chauffe $1,04 \times 67 = 69^{m^2},48$.

Le volume à chauffer est de 150 mètres cubes pour les douze appareils, soit $12^{m^3},5$ par appareil simple et par minute, ou $0^{m^3},208$ par seconde, ce qui donne comme vitesse du vent à froid $\frac{0,208}{0,0352} = 5^m,90$, ou environ 18 à 20 mètres dans le dernier siphon, que le vent abandonne à la température de 600 à 620 degrés. La surface de chauffe par mètre cube et minute est de $\frac{69,48}{12,50} = 5^{m^2},50$. Mais chaque appareil doit pouvoir chauffer au besoin 14 mètres cubes par minute (168 mètres cubes pour l'ensemble), ce qui ramène la surface de chauffe à 5 mètres quarrés.

A l'usine de Newport, il y a neuf appareils doubles par haut-fourneau, dont huit constamment en marche. Le vent se partage donc en seize courants. Le volume total étant de 200 mètres cubes, chaque conduit en reçoit par minute $\frac{200}{16} = 12^{m^3},50$ comme à Ayresome. Mais chaque appareil ne renferme que 6 siphons au lieu de 7, ce qui réduit la longueur totale du parcours à 58 mètres, chaque tube recourbé ayant la même hauteur qu'à l'usine d'Ayresome.

Par contre, la section intérieure est moins aplatie; elle mesure $0^m,42$ sur $0^m,10$, ou $0^{m2},0420$. Le périmètre est, comme à Ayresome, de $1^m,04$, d'où une surface de chauffe, par appareil, de 60 mètres quarrés; soit, par mètre cube et minute, $\frac{60}{12,5} = 4^{m2},80$. C'est un peu moins qu'à Ayresome, mais aussi on se borne à chauffer le vent à 590, au plus 600 degrés. La vitesse du vent, mesurée à froid, atteint $\frac{0,208}{0,042} = 4^m,95$. On voit donc que les appareils de ces deux usines, en ce qui concerne la vitesse du courant et la surface de chauffe, sont dans de bonnes conditions; mais on pourrait les améliorer, en leur appliquant en outre le chauffage méthodique et l'accroissement progressif des siphons.

2° *Appareils mixtes à conduit multiple.* — En France, on a adopté, dans plusieurs usines, un appareil mixte, à chauffage méthodique, formé de tuyaux multiples à section croissante. Il est décrit dans les Études de M. Vathaire sur les hauts-fourneaux, et se trouve installé à Bessèges, à l'usine de la Rochette de Givors, à Terre-Noire, etc.

Un appareil, destiné à ces hauts-fourneaux, brûlant 30 tonnes de coke par vingt-quatre heures, se compose de trente-six tuyaux verticaux, à cloisons intérieures, dressées sur deux caisses rectangulaires, encastrées horizontalement dans la maçonnerie de la sole du four (voir Pl. XII, *fig.* 3 à 6); chaque tube vertical est de section méplate ou ovale, ayant $0^m,40$ sur $0^m,20$, à l'intérieur.—La cloison intérieure laisse, au sommet du tube, une communication libre entre les deux moitiés. La longueur des tuyaux verticaux est de $2^m,90$. Le fourneau lui-même mesure $6^m,25$ de longueur, $3^m,50$ de largeur et $3^m,90$ de hauteur. Les caisses rectangulaires ont $0^m,60$ de hauteur et autant de largeur; elles sont divisées en deux, dans le sens de leur longueur, par une forte paroi venue de fonte, sur laquelle viennent s'appuyer

les cloisons intérieures des tuyaux verticaux. La première caisse, dont la longueur est de $5^m,25$, porte vingt tuyaux, espacés de $0^m,26$ d'axe en axe. La seconde caisse, placée parallèlement à la première, mesure $4^m,20$; elle porte seize tuyaux. L'air froid pénètre, par le bout (a), dans le compartiment de droite de la première caisse ; ce compartiment est lui-même divisé en deux par une cloison transversale, placée en b, après le 9ᵉ tube, de telle sorte que le vent ne peut d'abord circuler, en montant et en descendant, que par neuf tuyaux. L'air arrive ainsi dans le compartiment de gauche de la première caisse, compartiment dépourvu de cloison transversale ; le vent ne peut en sortir qu'en parcourant, en sens inverse, les 11 tuyaux suivants. Après ce double trajet, l'air arrive par le tuyau c au compartiment de gauche de la deuxième caisse, où il est chauffé une troisième fois, en se rendant, par les 16 derniers tuyaux, dans le compartiment de droite de la deuxième caisse. De là, le vent chaud s'écoule enfin vers la tuyère par le porte-vent d.

Les gaz du haut-fourneau brûlent sur la grille ef, et circulent ensuite au travers du fourneau en sens inverse de la marche du vent. Le chauffage, on le voit, est réellement méthodique, et le vent passe par des tuyaux à section croissante. La surface de chauffe intérieure de chaque tube est de $2^{m^2},80$, ce qui fait, pour les 36 tuyaux, $100^{m^2},80$. Pour les 30 tonnes de coke par vingt-quatre heures, le volume de vent par minute est de 70 mètres cubes, soit une surface de chauffe de $1^{m^2},45$ par mètre cube. La température du vent est de 375 degrés. La vitesse à froid, dans les neufs premiers tuyaux, est de $6^m,50$; par suite, celle du vent chaud, dans les seize derniers siphons, reste au-dessous de 10 mètres. Toutes ces conditions sont favorables à une bonne marche.

Ce système, où un appareil unique fournit le vent chaud à toutes les tuyères, est certainement préférable au mode ancien, d'après lequel chaque tuyère a son appareil spécial. Ce dernier arrangement n'offre que l'avantage d'un

trajet plus court entre la tuyère et l'appareil à air chaud. Un grand appareil unique utilise mieux la chaleur, fournit aux diverses tuyères un vent également chaud et permet de réduire les frais de construction. On peut même ajouter qu'un grand appareil intervient en quelque sorte comme *régulateur* de chaleur. Les variations brusques dans la nature des gaz réagissent d'autant moins sur la température du vent que la masse de briques, dont se compose le four, est plus considérable. Sous tous ces rapports, l'appareil de Bessèges mérite la préférence sur ceux de Newport et d'Ayresome. Mais, comme *régulateurs* de chaleur, on doit surtout signaler les appareils en *briques* du système Siemens dont il nous reste à parler.

II. — Appareils en terre réfractaire.

Lorsqu'on veut dépasser la température de 600° C, il faut substituer la terre réfractaire à la fonte ; mais comme l'argile cuite est peu conductrice de la chaleur, on ne peut s'en servir avec avantage sous forme de tuyaux, même s'il était possible de les rendre parfaitement étanches. Il faut donc avoir recours au principe des fours Siemens. On fait passer tour à tour, sur les *mêmes* surfaces réfractaires, les flammes qui doivent céder la chaleur et le vent qui doit s'en emparer. M. Cowper a le premier réalisé ce mode de chauffage, en 1860, dans l'usine de MM. Cochrane et Cᵉ à Ormesby (Cleveland). Cinq années après (en 1865), M. Whitwell, maître de forges dans le même district, à Stokton on Tees, construisit dans son usine un appareil un peu différent, mais basé sur le même principe. Ces deux nouveaux appareils sont connus en France par de nombreuses publications, telles que la *Revue de Liège*, le *Bulletin de l'industrie minérale*, la *Revue industrielle*, les *Annales industrielles*, et diverses brochures dues aux ingénieurs Boistel, Guyennet, Chenot, etc. On les a même déjà adoptés

dans quelques-unes de nos grandes forges du centre et du nord-est. Je crois devoir néanmoins en parler ici, dans le but de préciser les règles propres à fixer les dimensions principales de ces appareils.

Chaque appareil Cowper-Siemens, ou Whitwell (Pl. XIII et XIV), est renfermé dans une vaste tour cylindrique, rendue étanche, comme les régulateurs à vent, par une enveloppe de feuilles de tôle de $0^m,007$ à $0^m,008$ d'épaisseur. La surface intérieure est garnie, dans toutes ses parties, d'un mur en briques réfractaires qui doit protéger la tôle et conserver la chaleur. Enfin on remplit cette vaste enceinte de briques réfractaires qui doivent tour à tour absorber puis céder la chaleur. Il suit de là que, pour chauffer le vent, il faut au moins deux appareils identiques : dans l'un d'eux, on chauffe les briques, tandis que les briques chaudes de l'autre abandonnent au vent la chaleur précédemment absorbée. Toutes les heures, ou toutes les deux heures, on intervertit le jeu du double appareil, comme dans les fours Siemens ordinaires. Il faut donc que les briques emmagasinent assez de chaleur pour chauffer le vent au même degré, pendant ce laps de temps d'une ou deux heures ; d'où il suit que la surface de chauffe et la masse des briques doivent être beaucoup plus grandes dans les appareils nouveaux que dans les anciens, et cela malgré la chaleur spécifique élevée de l'argile qui est presque double de celle de la fonte. Tandis que les surfaces de chauffe des appareils en fonte sont de $0^{m2},50$ dans les plus anciens, et de 5 mèt. q. dans les plus modernes, par mètre cube de vent à chauffer par minute, on trouve dans l'appareil Whitwell 7 à 8 mètres quarrés, et dans le four Cowper-Siemens jusqu'à 18 et 20 mètres quarrés. Le poids des briques, par mètre cube de vent à chauffer par minute, est de 3000 kilogrammes, lorsque, dans les appareils formés de tuyaux, on trouve au maximum 1000 kilogrammes de fonte, et le plus souvent, dans les appareils ordinaires, pas au delà de 3 à 400 kilo-

grammes. Enfin la vitesse du vent doit être moins considérable dans les appareils en terre réfractaire, à cause de la moindre conductibilité de l'argile pour la chaleur.

On ne trouve, en effet, pour la vitesse à froid que 1^m,50 à 2 mètres dans le four Whitwell, et seulement 0^m,15 à 0^m,20 dans le four Cowper-Siemens. Cette différence de vitesse entre les deux appareils est d'ailleurs rachetée par une différence énorme dans l'étendue du parcours. Ce dernier est de 60 mètres dans le four Whitwell, contre 16 mètres, ou même seulement 8 à 9 mètres, comme nous le verrons, dans l'appareil Cowper.

Entrons maintenant dans quelques détails sur la disposition spéciale des deux appareils. Ils diffèrent surtout l'un de l'autre par le mode d'arrangement des briques qui remplissent l'enceinte. Dans le four Whitwell, elles forment *un grand conduit unique*, une sorte de long serpentin à branches verticales; dans le four Cowper, *un nombre considérable de canaux étroits*, relativement courts. On peut donc assimiler le premier au système Wasseralfingen, le second à l'appareil Calder.

Parlons d'abord du four Cowper, le plus ancien en date.

1° *Appareil Cowper-Siemens.* — La figure n° 1, Pl. XIII, montre la disposition générale et la marche d'un appareil destiné à chauffer 150 à 180 mètres cubes d'air par minute. Les flammes, pour le chauffage des briques, c'est-à-dire les gaz des hauts-fourneaux mêlés d'air, s'élèvent par une gaîne centrale de 1^m,50 de diamètre, puis redescendent par l'espace annulaire environnant, transformé en vaste chambre à briques, propre à retenir la chaleur des gaz. Ceux-ci ne marquent plus que 100 à 150 degrés en arrivant au bas de la cheminée. Lorsque les briques sont devenues incandescentes, dans la moitié supérieure de l'espace annulaire, on dirige les gaz dans le deuxième appareil et l'on fait arriver

le vent en sens inverse dans le premier four. C'est le chauffage méthodique dans toute sa rigueur.

La chambre annulaire à briques a 2^{m},40 de largeur, la petite circonférence ayant 1^{m},05 et la grande 3^{m},45 de rayon. La hauteur de la chambre mesure 8 mètres, et le diamètre extérieur de la tour 7^{m},90.

L'arrangement des briques n'est pas indifférent. A l'origine, on les disposait en *quadrillage*, à la façon des chambres du four Siemens ordinaire. Mais les poussières, entraînées par les gaz des hauts-fournaux, obstruent rapidement les vides, et le nettoyage n'est alors possible qu'en retirant les briques elles-mêmes. Les appareils, ainsi disposés, ne pourraient être chauffés qu'à la flamme d'un foyer spécial.

Lorsqu'on veut se servir des gaz d'un haut-fourneau, il faut assembler les briques en forme de *carneaux* verticaux, que l'on peut alors ramoner avec une chaîne ou des brosses en fil de fer. Au lieu de parois rigoureusement continues, M. Cowper préfère l'arrangement représenté par la figure n° 7, Pl. XIII. Les saillies des briques, en produisant des remous dans le mouvement du gaz, favoriseraient le chauffage des briques et celui du vent. Cet artifice me paraît sans utilité; et, tant au point de vue de la solidité que de la facilité du ramonage, les carneaux à parois *verticales continues* me semblent préférables.

En disposant les briques de la manière indiquée par les *fig.* 4 et 5, Pl. XIII, il est aisé de voir que les vides forment les $\frac{9}{16}$ ou 0,56 de la section entière de l'espace annulaire. On sait, en effet, que les longueur, largeur et épaisseur des briques ordinaires sont entre elles comme les nombres 4, 2 et 1, ce qui donne pour la section proprement dite de chaque carneau 3^2, lorsque celle du vide et du plein réunis correspond à 4^2. Avec des carneaux à parois lisses, le chauffage se fera bien, dès que le mouvement du gaz sera suffisamment lent et la surface de chauffe assez grande. On peut d'ailleurs, à la rigueur, combiner les carneaux à pa-

rois verticales et lisses avec un système de *jours transversaux* qui permet d'augmenter la surface de chauffe. Au lieu de l'arrangement représenté par les *fig.* 4 et 5, on pourrait adopter le quadrillage (*fig.* 6), formé de rangées de briques en croix, les rangs pairs représentés par *ab*, *a'b'*, etc., les rangs impairs par *cd*, *c'd'*, etc. La section des carneaux est également les $\frac{9}{16}$ de la surface entière, mais le carneau I communique, à tour de rôle, avec les carneaux II et III, par les jours que laissent entre elles les rangées successives projetées sur *c'd'* et *a'b'*.

On peut comparer, dans les deux cas, la surface de chauffe, ou surface *libre* des briques, à leur surface *totale*.

La surface *totale* d'une brique dont les dimensions sont 4, 2, 1, est représentée par $2(4 \times 2 + 4 \times 1 + 2 \times 1) = 28$; tandis que la surface *libre*, dans le cas de carneaux *pleins*, l'est par $2(3 \times 2)$ ou 12; et par 22, lorsque les carneaux sont à *jour*. Ainsi, dans ce dernier cas, la surface de chauffe serait presque double, mais cette différence est en partie compensée par un moindre volume. Dans le premier cas, les briques forment les $\frac{7}{16}$ du volume total de la chambre; dans le second, seulement les $\frac{4}{16}$. Il est évident d'ailleurs que les jours latéraux seraient promptement ensablés par les poussières, de sorte qu'en réalité, au point de vue de la solidité et de la facilité du ramonage, les carneaux verticaux à parois *pleines et lisses* méritent la préférence.

En partant des dimensions données, et en se rappelant que les briques des carneaux à parois pleines forment les $\frac{7}{16}$ du vide intérieur, on trouve :

Pour le volume des briques remplissant les chambres.	118^{m3}
Pour celui de la gaine centrale, à $0^m,33$ d'épaisseur.	16^{m3}
Pour le garnissage intérieur de la tour, à $0^m,50$ d'épaisseur.	140^{m3}
Total du volume des briques.	274^{m3}
Ou, à 1900 kilog. le mètre cube, ...	520 tonnes.

Ces dimensions correspondent à 180 mètres cubes de vent à la minute, en sorte que le poids des briques par mètre cube de vent est de 2890 kil., et leur volume de $1^{m^3},52$. Dans un autre appareil construit pour 156 mètres cubes de vent par minute, on trouve d'après M. Boistel, le représentant de M. Siemens en France, 225 mètres cubes ou 427 tonnes, ce qui fait, par mètre cube de vent à la minute, 2740 kil. de briques ou $1^{m^3},44$. Si nous prenons la moyenne approximative des deux poids, on voit que, par mètre cube de vent à la minute, la masse des briques est d'environ 2800 kil.; c'est un peu moins que le chiffre des appareils Whitwell, mais cette différence en moins est compensée, comme je l'ai déjà dit, par une surface de chauffe plus étendue. Cette surface est facile à calculer. Le volume d'une brique mesure $0^m,22 \times 0^m,11 \times 0^m,055 = 0^{m^3},00133$; et la surface de chauffe, par chaque brique, dans un carneau vertical à parois pleines, $2\,(0^m,165 \times 0^m,011) = 0^{m^2},0363$; par suite, chaque mètre cube de briques donne, comme surface de chauffe, $\frac{1}{0,00133} \times 0^{m^2},0363 = 27^{m^2},3$; soit pour

les 118 mètres cubes des briques du quadrillage.	3221^{m^2}
Il faut y ajouter les surfaces *non couvertes* des parois de l'enceinte; soit.	210^{m^2}
D'où, surface de chauffe totale.	3431^{m^2}
pour les 180 mètres cubes de vent à la minute; ce qui donne par mètre cube.	19^{m^2}

La vitesse du vent à froid est de $1^m,70$ dans la gaîne centrale et de $0^m,15$ à $0^m,16$ dans les carneaux de l'espace annulaire. Dans chacun d'eux la longueur du parcours est de 8 mètres seulement. Cette différence de vitesse explique l'absence d'un quadrillage de briques dans la gaîne centrale. En la remplissant de briques, comme l'espace annulaire, on y aurait augmenté la vitesse dans le rapport de 1 à 0,56. Toutes les poussières eussent été entraînées dans la chambre annulaire, tandis que précisé-

ment la gaîne centrale *libre* favorise le dépôt des grains les plus gros, et retarde l'ensablement des carneaux dans l'enceinte annulaire. A ce point de vue, on devrait même accroître la gaîne centrale afin que la vitesse ascendante y fût à froid au-dessous de 1 mètre par seconde.

Le nettoyage périodique des carneaux est le côté faible des appareils Cowper. L'inventeur indique un système de ramonage basé sur l'emploi d'un jet de vapeur, que l'on fait successivement pénétrer par le haut dans chacun des carneaux; mais il ajoute lui-même que « le meilleur moyen pratique pour nettoyer les conduits verticaux est d'y passer simplement une chaîne qu'un homme manœuvre en se tenant sur le régénérateur. » Je le crois volontiers; seulement cette opération ne peut se faire qu'après le refroidissement presque complet de l'appareil. Il faut donc pour chaque haut-fourneau au moins trois appareils : deux qui sont à tour de rôle parcourus par les gaz et le vent, le troisième qui se refroidit pour permettre l'entrée de l'ouvrier nettoyeur par le trou d'homme du sommet. Il en résulte non seulement un capital d'établissement plus considérable, mais encore des pertes de chaleur; d'ailleurs les variations fréquentes de température tendent à détruire rapidement l'appareil.

Évaluons maintenant la somme de chaleur accumulée par les briques, ce qui permettra de fixer la durée des périodes de chauffage, ou les intervalles de renversement des gaz et du vent.

Supposons que le vent doive être chauffé à 800 degrés. Par chaque mètre cube de vent, à fournir par minute, il faudra pour une heure un nombre de calories donné par le produit

$$60 \times 1^k,3 \times 800^\circ \times 0,239 = 14913,$$

où $60 \times 1^k,3$ représente le poids du vent et 0,239 la chaleur spécifique de l'air humide (*). Or, les 2800 kilo-

(*) La chaleur spécifique de l'air sec est 0,2375; mais en admet-

grammes de briques, que renferme l'appareil par chaque mètre cube de vent à la minute, abandonnent, pour un degré de refroidissement, $2800 \times 0,21 = 588$ calories, 0,21 étant la chaleur spécifique de l'argile cuite.

Pour chauffer le vent à 800 degrés pendant une heure, il suffirait donc que l'amas de briques tout entier se refroidît de $\frac{14913}{588} = 25$ degrés, ce qui est fort peu de chose eu égard à leur température réelle. Seulement, il est bien évident que les choses ne se passent pas ainsi. La faible conductibilité des briques pour la chaleur fait que le centre de chaque brique se refroidit moins que la surface ; de plus la température n'est pas uniforme dans l'appareil ; elle est fort élevé dans la gaîne centrale et dans le haut de la chambre à briques, elle est faible à la base du quadrillage annulaire. Si nous admettons que la chaleur ne soit prise que sur une épaisseur de $0^m,01$ par exemple, on aurait encore, à cause des 19 mètres quarrés de surface de chauffe par mètre cube de vent, un volume actif de $0^{m^3},19$ de briques, ou 361 kilogrammes, qui représentent les 0,13 du poids total de 2800 kilogrammes ; en sorte que, pour chauffer le vent à 800 degrés, il suffirait que cette couche superficielle de $0^m,01$ se refroidît uniformément de $\frac{100}{13} \times 25 = 192$ degrés dans l'espace d'une heure. On voit donc qu'en intervertissant le courant toutes les heures, le refroidissement des briques serait encore faible, et qu'en adoptant même des intervalles de deux heures, les variations dans la température du vent ne sauraient être bien fortes. L'expérience indique, dans ce dernier cas, 40 à 60 degrés. Cette faible variation tient essentiellement à la masse et à la surface considérables des briques comparées au poids de l'air à chauffer. Là est tout le secret du nouvel appareil.

---

tant, comme au § 16 de mes *Études sur les hauts-fourneaux*, 0,0062 de vapeur d'eau dans l'air, on trouve 0,239.

Quant à la marche de l'appareil, elle se conçoit aisément. Le four est muni de cinq conduits à valves ou clapets, pour régler la circulation des gaz. Le clapet du vent chaud est à double paroi et à courant d'eau comme les tuyères; il est représenté par la *fig.* 3, Pl. XIII. Pour éviter les pertes de chaleur, le conduit pour le vent chaud en tôle est garni de briques comme l'appareil lui-même. Lorsqu'on veut réchauffer un appareil, on ferme les conduits du vent chaud et du vent froid; on ouvre la petite soupape (*c*), afin de ramener l'intérieur à la pression de l'atmosphère; puis on lève successivement les valves pour l'entrée des gaz et de l'air extérieur, et en dernier lieu le registre de la cheminée. La gaîne centrale doit être demeurée assez chaude pour l'inflammation spontanée du gaz dès son arrivée. Dans le cas contraire, il pourrait se former des mélanges détonants.

Quand on veut de nouveau chauffer le vent, on ferme les clapets à gaz et à air, puis celui de la cheminée; on ouvre le clapet pour le vent froid et, en dernier lieu, celui de l'air chaud.

En ce qui concerne le mode de construction des appareils Cowper-Siemens, j'ajouterai seulement qu'à l'origine le quadrillage extérieur était supporté par des voûtes à jour; aujourd'hui l'inventeur préfère des poutres ou supports en fonte, comme le montre la *fig.* 1, Pl. XIII.

2° *Appareil Whitwell.* — L'appareil Whitwell est représenté par les *fig.* 1 à 4, Pl. XIV. Il se compose d'une vaste enceinte cylindrique munie d'une série de cloisons verticales, qui forcent le vent et les gaz à circuler en serpentant au travers de l'appareil; c'est un conduit unique de 60 mètres de longueur.

Les gaz des hauts-fourneaux arrivent par le tuyau A et se répandent dans un premier compartiment à grande section, où les poussières entraînées tendent à se déposer en majeure partie. L'air pour la combustion pénètre dans l'en-

ceinte par les soupapes *a* et *c*, s'échauffe dans les carneaux *b*, réservés dans la première et la quatrième cloison verticale, et s'écoule de là, par une série d'ouvreaux, perpendiculairement au courant gazeux. On règle, bien entendu, l'arrivée de l'air d'après la longueur des flammes fournies par les gaz. Les cloisons sont consolidées par trois murs mitoyens qui partagent le courant général en quatre branches; mais celles-ci ne restent pas isolées, car les murs mitoyens sont eux-mêmes percés par des jours (*g*). Les gaz ainsi brûlés, puis refroidis vers 150 degrés, arrivent enfin par le conduit et la valve B à la grande cheminée de tirage L.

Lorsqu'un appareil est suffisamment chaud, on ferme les trois registres ou clapets dont je viens de parler, puis on ouvre la vanne C pour l'arrivée du vent froid, et le clapet D pour la sortie du vent chaud. Le vent parcourt ainsi le serpentin en sens inverse, et s'échauffe méthodiquement. Je dois même constater que M. Whitwell a eu la précaution d'agrandir progressivement les sections du serpentin, pour tenir compte de la dilatation du vent. Le grand avantage du four Whitwell est de permettre le nettoyage sans exiger le refroidissement préalable de l'appareil.

Dans la voûte du four se trouvent une série de tampons en fonte et briques réfractaires (E), faciles à enlever. Avec un instrument à long manche on gratte les parois des cloisons; les poussières tombent sur le sol et sont évacuées par les ouvertures à tampons F, placées au bas de la tour, en face de chacune des cloisons. Six à huit heures suffisent pour cette opération.

De petits ouvreaux *ff* permettent de juger du degré d'accumulation des poussières, et de la température des diverses régions du four. Les clapets à gaz et à air chauds sont à circulation d'eau comme dans le four Cowper. Au-dessous des clapets A et B, se trouvent deux petits registres *ee*, qui permettent de juger si, pendant le chauffage du vent comprimé, les clapets ne perdent pas.

Les dimensions principales d'un appareil, destiné à chauffer 100 mètres cubes de vent par minute jusque vers 750 à 800 degrés, pour une production d'environ 40 tonnes de fonte par vingt-quatre heures, sont les suivantes :

Diamètre extérieur de la tour.	$6^m,70$
Hauteur de la tour.	$8^m,70$
Section du serpentin à l'entrée du vent froid.	$0^{m2},80$ à $0^{m2},90$
Section du serpentin à la sortie du vent chaud.	$2^{m2},50$

Les cloisons ont $0^m,22$ d'épaisseur, sauf la première qui en a $0^m,33$.

La vitesse moyenne du vent froid est de $1^m,60$, mais, à cause des sections croissantes du serpentin, elle est plutôt en réalité de 2 mètres à l'entrée, de $1^m,65$ vers le centre, et de $0^m,70$ vers la sortie.

Le volume total des briques est de 170 mètres cubes, à savoir :

Le volume des cloisons.	60^{m3}
Celui de l'enveloppe latérale.	70
Celui de la voûte.	20
Celui de la plate-forme.	20
Total.	170^{m3}

Ainsi, par mètre cube de vent chauffé par minute, le four renferme $1^{m3},70$ de briques, ou $1,70 \times 1900 = 3230$ kilogrammes; c'est, comme je l'ai dit, un peu plus que dans le four Cowper; par contre, la surface de chauffe totale est de 750 mètres quarrés seulement, soit $7^{m2},50$ par mètre cube de vent, et cela malgré un parcours total de 60 mètres.

D'après cela, au point de vue du chauffage, le four Withwell est inférieur au four Cowper. La perte de pression est également moins considérable dans ce dernier.

Cette perte, on l'a vu ci-dessus, est à peu près proportionnelle à l'expression

$$\frac{\text{Périmètre}}{\text{Section}} \times v^2.$$

Or, dans le four Whitwell, le périmètre du conduit est de 10 mètres au centre du four, la section de 1 mètre quarré, et la vitesse du vent à froid de $1^m,60$, ce qui donne, pour la formule en question,

$$10 \times \frac{(1^m,60)^2}{1^{m2}} = 25,6.$$

Tandis que dans le four Cowper, on a :

Pour le périmètre de chaque carneau.	$4 \times 0,165 = 0^m,66$
Pour sa section.	$(0^m,165)^2 = 0^{m2},027$
Pour la vitesse du vent, $0^m,155$; soit pour v^2.	$(0^m,155)^2 = 0,024$

Donc, la perte de pression sera

$$0,66 \times \frac{24}{27} = 0,59,$$

c'est-à-dire plus de quarante fois plus faible.

Et pourtant, malgré ce double avantage, je crois devoir donner la préférence au four Whitwell, à cause de la facilité de son nettoyage, qui peut se faire sans arrêt prolongé, et, par conséquent, sans nécessiter un troisième appareil. Il en serait autrement, bien entendu, si, par un système de précipitation bien établi, on débarrassait, au préalable, les gaz des hauts-fourneaux des poussières entraînées.

J'observerai, en terminant, que quoique la perte de pression soit plus grande au four Whitwell qu'au four Cowper, elle est cependant plus faible que dans les appareils en fonte, où elle atteint $0^m,01$ à $0^m,02$ de mercure.

Si nous reprenons, en effet, l'appareil en fonte de l'usine d'Ayresome, où le périmètre intérieur des tuyaux est de

$1^m,04$, la section $0^{m2},035$, et la vitesse du vent $5^m,90$, nous trouvons pour le nombre proportionnel à la perte de pression

$$1,04 \times \frac{(5,90)^2}{0,035} = \frac{36204}{35} = 103,$$

chiffre quatre fois plus fort que dans le four Whitwell. La perte réelle dans ce dernier four ne saurait donc dépasser $0^m,005$ de mercure, si l'appareil est d'ailleurs bien étanche.

Au point de vue du vent lui-même, il n'y a donc pas lieu à s'en préoccuper. Mais le long parcours de 60 mètres, à la vitesse moyenne de $1^m,60$ à froid, est un obstacle réel au tirage de l'appareil lors de son réchauffage par les gaz brûlés du haut-fourneau. Il est certain que sous ce rapport l'appareil Whitwell est inférieur à l'appareil Cowper. Il faut une cheminée très-haute pour activer le tirage, sinon la combustion est languissante, et le chauffage des cloisons insuffisant. Cet inconvénient a été constaté récemment dans l'une des forges du Luxembourg (*). On pourrait, ce me semble, y remédier jusqu'à un certain point, en remplaçant le *serpentage vertical* du courant gazeux par un *serpentage horizontal*. Au lieu de laisser à tour de rôle des passages libres vers le haut et le bas des cloisons, on ouvrirait ces passages alternativement sur le devant et l'arrière des cloisons. Un courant gazeux, dont la température s'abaisse graduellement, fonctionne mieux, par simple tirage, s'il est appelé à progresser *horizontalement*, que s'il doit, tour à tour, monter et descendre. Dans les deux dispositions, la surface de chauffe reste d'ailleurs la même.

Je ne dirai rien des frais d'établissement de ces appa-

(*) Il est assez probable, au reste, que dans plusieurs de nos usines françaises, il soit plus difficile d'atteindre la température de 800 degrés que dans le Cleveland. En France, où les minerais sont souvent humides ou hydratés, les gaz des hauts-fourneaux développent moins de chaleur que dans le Cleveland, où les minerais sont chargés chauds et calcinés.

reils; ils varient nécessairement avec les localités; j'observerai seulement, d'une manière générale, que les prix sont à peu près les mêmes pour les fours Cowper et Whitwell, et qu'en France chaque appareil, pour chauffer 100 mètres cubes de vent par minute, ou fournir 40 tonnes de fonte par vingt-quatre heures, peut coûter 35 à 40000 francs; ce qui fait en réalité 75000 francs pour les deux apppareils; et environ 100000 francs, s'il en fallait trois à cause des poussières.

Enfin, pour ce qui concerne l'économie résultant de l'emploi du vent surchauffé, je renvoie au mémoire précédent, intitulé *Études sur les hauts-fourneaux*.

NOTE SUR LA COMPOSITION DES GAZ

PRODUITS

DANS L'APPAREIL BESSEMER PENDANT L'OPÉRATION,

Traduite, par extrait, d'une note de M. G. J. SNELUS (*),
par M. H. AMIOT, ingénieur des mines.

Objet du travail. — Beaucoup d'observateurs attribuent au carbone, dans un certain état de combinaison, la plupart des raies que présente la flamme du convertisseur Bessemer ; quelques autres les rapportent au manganèse (**). L'analyse des gaz montrerait quel est l'état de combinaison du carbone auquel elles doivent correspondre dans la première hypothèse. Elle expliquerait comment, en ce cas, il peut se faire que l'on ne voie pas le spectre du carbone dans les premières phases de l'opération, tandis qu'il y a du carbone brûlé dès son début. Enfin, on admet généralement que le carbone de la fonte passe dans la cornue à l'état d'oxyde de carbone, mais on ne l'a jamais vérifié ; l'analyse des gaz peut seule faire voir ce qui en est.

Manière de recueillir les gaz.—Les gaz à analyser étaient recueillis par le moyen d'un long tuyau à gaz en fer, portant à son extrémité un col de cygne évasé en pavillon (*swan-neck trumpet mouthpieee*), en argile réfractaire ; on introduisait celui-ci dans le col de la cornue, une fois qu'elle était relevée. Cette pièce s'empâtait de scorie et ne servait qu'une fois. On la faisait pénétrer à une certaine profondeur dans la cornue, de manière à éviter toute entrée d'air par entraînement. A l'autre extrémité du tuyau, on fixait des tubes de verre, aux diverses phases de l'opération,

(*) *Journal of the Iron and Steel Institute.* 1871, vol. II, n° 4.
(**) Il y a aussi les raies du fer. T.

lorsqu'on voulait faire une prise de gaz, et on les fermait à la lampe avant de les détacher. Un courant continu traversait constamment le tube, et la première prise de gaz ne se faisait que deux minutes après le moment où il était établi. Pendant la première période de l'opération, le gaz ne s'allumait point à l'extrémité du tube; mais à partir du commencement du bouillonnement (*boil*) jusqu'à la fin de l'opération, il brûlait avec la flamme bleu pâle de l'oxyde de carbone. On opérait les prises de gaz de deux en deux minutes.

Procédés d'analyse. — L'appareil employé était une modification de celui qui sert à déterminer les gaz dans les analyses d'eaux (il est décrit par M. Frankland). Dans deux cas, l'oxyde de carbone a été dosé deux fois : 1° par une solution chlorhydrique de sous-chlorure de cuivre; 2° par combustion avec l'oxygène et absorption par la potasse (méthode de Bunsen) ; il y a eu concordance.

Analyses. — *Durée de l'opération,* **18** *minutes.*

	1	1 *bis.*	2	3	4	5	6
Temps écoulé depuis le début de l'opération	minutes. 2	minutes. »	minutes. 4	minutes. 6	minutes. 10	minutes 12	minutes. 14
Acide carbonique	10,71	9,12	8,57	8,05	3,58	2,38	1,34
Oxygène	0,92	0,51	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00
Oxyde de carbone	0,00	0,06	3,95	4,58	19,59	29,44	31,11
Hydrogène	88,37	90,31	0,88	2,00	2,00?	2,16	2,00?
Azote			86,58	85,37	74,83	66,02	65,55
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Observations au spectroscope et à l'œil nu.	Spectre faible et continu. Absence de flamme. Étincelles abondantes.	»	La ligne du sodium commence à apparaître par éclairs. Étincelles abondantes.	Lignes du sodium, du potassium et du lithium. La quantité des étincelles décroît.	Spectre complet, y compris les lignes du carbone. Flamme épaisse et brillante. Étincelles très-peu nombreuses.	Spectre complet. Flamme épaisse. Étincelles encore moins nombreuses.	Spectre complet. Flamme épaisse. A peine quelques étincelles.

L'analyse 1 *bis* se rapporte à une prise d'essai faite quatre minutes après le commencement d'une autre opération qui a duré 29 minutes.

La prise d'essai n° 4 a suivi de près le bouillonnement. (*boil*).

Les analyses permettent de calculer :

1° Les quantités relatives de carbone brûlées à l'état d'acide carbonique et d'oxyde de carbone;

2° Les quantités relatives de silicium et de carbone oxydées dans le même temps; pour ce dernier calcul, on déduit le poids de l'oxygène du poids de l'azote, on en retranche l'oxygène de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique, et l'on admet que le reste est uni à du silicium (*).

	1	2	3	4	5	6
Quantité relative de C brûlé à l'état de CO^2	100,00	68,48	64,46	15,46	7,28	4,13
Quantité relative de C brûlé à l'état de CO	0,00	31,52	35,54	84,54	92,72	95,87
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Quantité relative de Si oxydé	72,91	69,80	69,01	39,58	4,24	3,34
Quantité relative de C oxydé	27,09	30,20	30,99	60,42	95,76	96,66
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ainsi, l'oxydation du carbone commence dès le début de l'opération, mais dans la première moitié elle marche bien moins vite que celle du silicium; dans la seconde moitié, le silicium a disparu presque en entier, et c'est le carbone qui brûle à son tour. Le carbone oxydé passe principalement à l'état d'acide carbonique dans la première partie de l'opération (ce qui est un résultat imprévu) ; il passe presque en entier à l'état d'oxyde de carbone dans la deuxième.

Il n'y a point production d'hydrocarbures. On l'a constaté dans l'analyse n° 5 ; les gaz ont été laissés douze

(*) Mais il s'oxyde aussi du fer. T.

heures en présence d'acide sulfurique fumant, sans que rien fût absorbé. Ainsi, la flamme est uniquement due à la combustion de l'oyde de carbone, et son grand éclat doit s'expliquer par la haute température à laquelle il se trouve.

C'est aussi la température élevée des gaz à la fin de l'opération qui explique leur forte teneur en oxyde de carbone. Ils sont bien moins chauds au début qu'à la fin; or, les expériences de M. J. L. Bell montrent que les conditions d'équilibre, en présence du fer métallique, sont en volumes :

Au rouge sombre.	p. 100 de CO	150 de CO^2.
Au rouge vif.	—	47 —
Au voisinage du blanc. . .	—	11 —

Les raies du spectre de la flamme dues au carbone doivent être celles de l'oxyde de carbone, à la température de la flamme.

Valeur des gaz. — Les gaz de la cornue Bessemer tiennent en moyenne, pendant la deuxième période de l'opération, 31,11 p. 100 d'oxyde de carbone, c'est-à-dire plus que les gaz du générateur Siemens et à peu près autant que la moyenne des gaz du haut-fourneau. On perd donc avec eux une quantité de combustible que M. Snelus évalue à l'équivalent de 25 tonnes de coke pour 1000 tonnes de fonte traitées, et il serait à désirer que l'on pût les utiliser au chauffage des chaudières.

NOTE

SUR LE MÉMOIRE DE M. BOCHKOLTZ.

(Juin 1872, *Revue universelle de Liége.*)

Par M. LESEURE, ingénieur des mines.

En 1868, sur la demande de mon camarade M. Castel, j'ai publié dans le *Bulletin de l'industrie minérale* un résumé aussi fidèle que possible de la notice de M. Bochkoltz sur le régénérateur de force.

J'ai ajouté quelques observations qui m'étaient personnelles, et je croyais en cela ne blesser aucune convenance.

Quatre ans après, c'est-à-dire en 1872, M. Pernolet insérait dans les *Annales des mines* et dans le *Bulletin de l'industrie minérale* un mémoire sur l'application faite du système Bochkoltz aux mines de Charleroi.

Au même moment, paraissait dans la *Revue universelle de Liége* un mémoire de M. Bochkoltz, intitulé :

« Observations rectificatives et complémentaires sur un « compte rendu de M. Leseure, ingénieur des mines, sur « le Régénérateur de force. »

Le 10 décembre 1872, un ingénieur a bien voulu me communiquer le numéro où cet article a été imprimé. Les critiques que m'adresse M. Bochkoltz sont vives ; or, sans prétendre à une grande autorité en pareille matière, on trouvera naturel que je tienne à me justifier du reproche de légèreté, de présomption ou d'ignorance.

Je serai bref, me bornant à rappeler mes expériences sur les machines d'épuisement et la méthode que j'ai suivie pour en discuter les résultats.

1° EXPÉRIENCES.

(Tome V du *Bulletin de l'industrie minérale.*)

Nous avons relevé les diagrammes de la vapeur à l'aide de l'indicateur de Watt sur les deux faces du piston.

Nous avons calculé le travail de la vapeur correspondant à la surface des deux aires tracées par le crayon de l'indicateur,

Soit 118.000 kilogrammètres pour la machine d'Égaraude
et 102.240 kilogrammètres pour la machine de Sainte-Colette.

Nous avons ensuite mesuré séparément la hauteur et le débit réel de chacune des pompes aspirantes et foulantes. Nous avons jaugé aussi minutieusement qu'il était possible les fuites d'eau par les joints des tuyaux. Toute déduction faite, on obtenait pour le travail total utile de l'eau élevée par les pompes :

99.808 kilogrammètres à Égaraude
et 94.440 kilogrammètres à Sainte-Colette.

Ces nombres ne sont pas contestés.

2° DISCUSSION DES RÉSULTATS.

(Tome IX du *Bulletin de l'industrie minérale.*)

Nous avons rejeté de propos délibéré l'équation du travail de la course ascendante de la maîtresse tige. Cette équation suppose qu'on a mesuré préalablement le poids de la maîtresse tige, des balanciers, des pistons, le jeu des diverses articulations, l'action de la pesanteur sur tous les organes déplacés dans le mécanisme, etc. Et l'on voit de suite ce que de telles mesures comportent de difficultés et de causes d'erreurs.

Nous avons suivi une autre voie, qui nous paraît, à tous égards, bien préférable.

Nous avons employé la formule générale et inattaquable que tout le monde connaît, formule du travail des forces agissant sur un système matériel :

$$\Sigma \tfrac{1}{2} mv^2 - \Sigma \tfrac{1}{2} m^2 v^2_0 = \Sigma TF + \Sigma . \int f dl.$$

Dans le cas de nos expériences, toutes choses étant ramenées à leur état primitif, à la fin d'une course complète (aller et retour), elle se réduisait à la forme très-simple :

$$\Sigma TF = 0,$$

ou, en termes concrets, à $T_m = \Sigma ph + T_r$.

T_m était le travail moteur proprement dit, effectué par la vapeur après son évolution complète depuis l'entrée dans le cylindre jusqu'à l'échappement au condenseur.

Σph représentait le travail de la pesanteur sur les masses d'eau en mouvement après évolution complète du système élévatoire.

T_r exprimait le travail des résistances passives, entendu au sens habituel, c'est-à-dire le travail des frottements du mécanisme et de l'eau.

Nous avons dit plus haut quelles étaient les valeurs de T_m et de Σph, de telle sorte que le rapport du travail utile au travail moteur proprement dit de la vapeur, était mesuré par les nombres :

$$\frac{99.808}{118.000} = \frac{84,6}{100} \text{ pour la machine d'Égaraude}$$

$$\text{et } \frac{94.440}{102.260} = \frac{92}{100} \text{ pour la machine de Sainte-Colette.}$$

Ce rendement caractérisait, à notre point de vue, le soin apporté dans l'installation et l'entretien du mécanisme.

Si l'on veut au contraire comparer les systèmes de machines, nous proposons une autre base que celle habituellement suivie, mais que nous estimons plus sûre et plus rationnelle.

Nous avons exprimé l'avis qu'il fallait introduire dans cette comparaison une autre donnée fondamentale, le poids de vapeur dépensé à chaque course complète. Il est très-aisé de l'obtenir exactement à l'aide des mesures prises sur la machine et des indications portées sur les diagrammes.

Nous avons trouvé 9,54 à Égaraude et 11,84 à Sainte-Colette.

Nous avons dit et nous soutenons encore que le véritable terme de comparaison à adopter est le rapport du poids de vapeur dépensé au travail moteur proprement dit T_m, développé par la vapeur dans son évolution complète au cylindre, ou en d'autres termes le travail moteur de la vapeur par kilogramme dépensé.

C'est ainsi que nous avons donné les nombres.

$$\frac{118.000}{9,54} = 12.360 \text{ pour Égaraude}$$

et

$$\frac{102.260}{11,84} = 8.640 \text{ pour Sainte-Colette.}$$

On voit, avec quelle facilité, on obtient ces nombres et de quelle exactitude ils sont susceptibles.

Nous le demandons avec confiance à tous les ingénieurs compétents. Cette méthode n'est-elle pas plus rapide et plus sûre pour les calculs?

Et le nombre adopté pour terme de comparaison n'est-il pas la vraie mesure de la perfection avec laquelle la vapeur est utilisée par le système de machine et de l'avantage économique qu'on doit en attendre?

— Il ne me reste plus qu'un point à traiter.

Tout en rendant justice à l'invention de M. Bochkoltz, j'ai fait mes réserves sur le bénéfice de son application, parce que je trouvais que l'auteur le portait beaucoup trop haut.

Et voici comment, abstraction faite de toute formule, j'ai raisonné :

Il est bien certain qu'on doit *toujours* avoir un excès de poids non équilibré pour déterminer la course descendante, surmonter les résistances passives, et communiquer une certaine accélération aux masses en mouvement.

Cet excès de poids *nécessaire* (*) agit donc, d'abord pour soulever les clapets de refoulement, et ensuite pour imprimer une certaine vitesse. Cette vitesse détermine une première résistance de la vapeur en mouvement, et l'on achève de ralentir le mouvement jusqu'à un arrêt complet par la compression de la vapeur.

C'est ici seulement que j'aperçois l'avantage du système Bochkoltz, qui utilise une partie du travail emmagasiné dans son balancier vertical pour produire et hâter ce ralentissement.

Quelle est l'importance exacte de cet avantage, quelle en est l'économie ? C'est ce que je connaîtrais clairement et immédiatement, si l'on voulait bien mesurer le *travail moteur* réalisé par kilogramme de vapeur *après évolution complète*, étant d'ailleurs entendu que la comparaison serait faite avec une machine neuve semblable, non munie de l'appareil Bochkoltz.

Voilà le résumé de ce que j'ai fait et dit.

(*) Qui doit être réduit au minimum utile.

Les lecteurs jugeront si je n'avais pas droit à plus d'indulgence que M. Bochkoltz n'a daigné m'en accorder après quatre ans de réflexion.

Rive-de-Gier, 14 décembre 1872.

REVUE DE GÉOLOGIE

POUR LES ANNÉES 1870 ET 1871.

Par MM. DELESSE et DE LAPPARENT, ingénieurs des mines.

Nous nous proposons de résumer les principaux travaux de géologie qui ont été publiés pendant les années 1870 et 1871.

Les ouvrages français ne seront généralement mentionnés que d'une manière sommaire, notre but étant surtout d'appeler l'attention sur les progrès que la géologie a faits à l'étranger.

La classification suivie dans cette Revue est à peu près celle du *Manuel de géologie* de M. J. D. Dana, et nous la diviserons en cinq parties :

I. PRÉLIMINAIRES ET GÉOLOGIE PHYSIOGRAPHIQUE.

Ouvrages de géologie. — Généralités sur le globe.

II. GÉOLOGIE LITHOLOGIQUE.

Étude des roches et de leurs gisements. — Roches proprement dites et roches métallifères.

III. GÉOLOGIE HISTORIQUE.

Étude des terrains au point de vue stratigraphique et paléontologique. — Lois du développement des végétaux et des animaux qui vivaient pendant la formation de ces terrains.

IV. GÉOLOGIE GÉOGRAPHIQUE.

Examen des cartes et des descriptions géologiques. — Géologie agronomique.

V. GÉOLOGIE DYNAMIQUE.

Étude des agents et des forces qui ont produit des changements géologiques, ainsi que de leur mode d'action.

M. Delesse a spécialement traité la deuxième partie compre-

nant les roches ou la géologie lithologique; il s'est occupé également de la géologie agronomique.

M. de Lapparent s'est chargé de la troisième partie comprenant les terrains ou la géologie historique; il s'est chargé en outre des systèmes de montagnes.

Quant au reste du travail, il a été fait en commun.

PREMIÈRE PARTIE.

OUVRAGES GÉNÉRAUX DE GÉOLOGIE.

Sir Charles Lyell (1) a publié une onzième édition, entièrement revue, de ses *Principes de géologie*. Laissant de côté les hypothèses relatives à l'origine première du globe, l'auteur examine en détail les théories astronomiques à l'aide desquelles on peut expliquer les variations des climats aux diverses époques géologiques. Selon lui, les causes astronomiques n'exercent qu'une très-faible influence comparativement à celle qui résulte des faits géographiques, c'est-à-dire de la distribution relative des terres et des mers, de l'altitude des continents, de la profondeur de l'Océan. Sir Charles Lyell est d'avis qu'une connaissance plus complète des effets produits par les courants marins pourrait écarter plusieurs des difficultés qui naissent de la présence de plantes tropicales dans des régions où les formes animales appartiennent maintenant à des types arctiques.

On doit aussi à Sir Charles Lyell un *Traité élémentaire de géologie* (2), qui n'est autre qu'un abrégé des *Éléments* du même auteur, mis au courant des derniers progrès de la science.

M. A. C. Ramsay (3) a fait paraître une troisième édition de sa *Géologie physique de la Grande-Bretagne*. Précédemment nous avons déjà rendu compte de cet ouvrage, dans lequel l'auteur a cherché à montrer combien la structure géologique de la Grande-

(1) *Principles of Geology*. London, Murray, 1872.
(2) *Students Elements of Geology*. Murray, 1871.
(3) *The Physical Geology and Geography of Great Britain*.

Bretagne est simple, lorsqu'on se borne aux faits principaux (1). Dans cette édition nouvelle, il s'est occupé d'une manière plus complète de la structure de l'Angleterre et de l'Écosse, ce qui l'a conduit à traiter divers sujets relatifs au terrain houiller, à l'époque glaciaire et à l'union de la Grande-Bretagne avec le continent.

Un chapitre nouveau est consacré à l'étude des causes qui ont modifié le cours des rivières. L'influence que la constitution géologique du sol exerce sur la terre végétale est étudiée avec plus de détails, et M. Ramsay s'occupe aussi de la comparaison des récoltes qui sont obtenues par les agriculteurs sur les différentes formations.

M. Ch. Naumann (2), le savant professeur de la Saxe, a continué la publication de son *Traité de géologie*. Une nouvelle livraison de son troisième volume, qui vient de paraître, est plus spécialement consacrée à l'étude géologique des basaltes, des laves et des volcans modernes. Elle commence en outre l'examen des gîtes métallifères.

La 2me édition de l'ouvrage du professeur G. Bischof (3), de Bonn, sur la *Géologie chimique et physique*, a été terminée par un volume posthume de supplément dont la publication a eté confiée aux soins de M. F. Zirkel. On y trouvera des recherches spéciales sur les laves, la ponce, le basalte, le mélaphyre, et des expériences nouvelles ayant pour but d'éclairer diverses questions intéressantes de géologie.

M. le professeur K. Zittel (4), de Munich, a publié un *Traité élémentaire de géologie* dans lequel il représente l'état du monde inorganique et du monde organique à chacune des grandes périodes de l'histoire du globe. M. Zittel distingue les périodes *cœnolithique* (alluvions, terrain quaternaire, terrain tertiaire), *mésolithique* (craie, jura et trias), *paléolithique* (du permien au silurien) et *archolithique* (gneiss et roches à Eozoon). Pour chacune d'elles, l'auteur décrit les roches et les minéraux dominants ainsi que les espèces fossiles caractéristiques. L'ouvrage est accompagné de nombreuses figures faites avec soin et de croquis restaurant plusieurs des mers anciennes d'une grande partie de l'Europe.

— M. A. Boué (5) a fait des recherches sur les épaisseurs que présentent les terrains qui se sont déposés dans les pays dont la géologie est le mieux connue. Un tableau général joint à son travail

(1) *Revue de géologie*, VI, pages 4 et 6 à 11.
(2) *Lehrbuch der Geognosie*, 2e édit., III.
(3) *Lehrbuch der Ch. und Phys Geologie*. Supplément Band, 1871.
(4) *Aus der Urzeit*. Munich, 1871-1872.
(5) *Académie des sciences de Vienne*, 1872.

indique ces épaisseurs pour les Iles Britanniques, la France, la Belgique, les Alpes, l'Allemagne, l'Autriche, l'Italie, ainsi que pour la Russie, l'Inde, le Canada et les États-Unis.

M. Charles Mayer (1), qui avait dressé précédemment des tableaux synchroniques pour les terrains tertiaires et jurassiques des pays dont la géologie est le mieux étudiée, vient de leur donner une suite pour les terrains crétacés. M. Mayer continue à faire connaître les épaisseurs maxima de chaque étage et, ce qui nous paraît moins utile ou en tout cas très-problématique, la durée de leur dépôt.

— Des études sur *le fond des mers* ont été publiées par M. Delesse (2). Basées sur des sondages faits par les marins et par les ingénieurs hydrographes, ainsi que sur des recherches personnelles pour les côtes de France, elles s'étendent aux mers les mieux connues de l'ancien et du nouveau continent.

Les cartes jointes à l'ouvrage donnent la forme du fond des mers qui est figurée au moyen de courbes horizontales; d'un autre côté, des teintes conventionnelles représentent la nature physique et minéralogique des roches qui constituent ce fond, qu'elles appartiennent à l'époque actuelle ou bien à des époques antérieures.

Les résultats fournis par les études précédentes sont ensuite appliqués aux mers qui baignaient la France pendant les principales périodes géologiques ; en outre, des cartes spéciales indiquent approximativement le relief actuel des terrains silurien, triasique, liasique, éocène et pliocène dans l'étendue de la France.

L'ouvrage est terminé par des considérations générales sur les terrains des diverses époques.

— M. G. Cotteau (3) a continué son *Rapport annuel* sur les progrès de la géologie et de la paléontologie en France. Dans son douzième rapport, on trouvera notamment des détails complets sur les nombreuses recherches qui sont relatives à l'apparition de l'homme et au terrain quaternaire.

Une publication analogue à la précédente, mais s'appliquant surtout aux travaux des géologues suisses, est encore faite par M. Ernest Favre dans la *Bibliothèque universelle de Genève*.

---

(1) Zurich. Librairie Cæsar Schmidt.

(2) *Lithologie du fond des mers*. 2 vol. in-8°, avec atlas de cartes imprimées en chromolithographie. Paris, librairie E. Lacroix. — Voir aussi *Revue de géologie*, t. VII, p. 5; t. VIII, p. 234.

(3) *Annuaire de l'Institut des Provinces*. 1870.

GÉOLOGIE PHYSIOGRAPHIQUE.

Océanographie.

Sous le titre *Océanographie*, la librairie Artaria, de Vienne, en Autriche, a publié des mappemondes indiquant approximativement :

1° Le relief du fond des mers qui est en grande partie figuré d'après les travaux du commandant Maury;

2° Les courants qui traversent les mers d'après Berghaus;

3° Les lignes cotidales et le mouvement des marées, d'après Whewell;

4° La distribution de la température à la surface des mers, d'après les recherches de MM. J. D. Dana et Petermann. Le mois qui a été choisi est celui de Janvier, qui est le plus froid de l'année.

Une carte spéciale fait aussi connaître la distribution de la température sur tout le globe, pour la terre ainsi que pour la mer ; elle indique enfin, d'après Dove, Berghaus et autres savants, la température de tout l'hémisphère Nord pendant chacun des mois de l'année.

Du reste, on trouve également ces données dans plusieurs atlas de géographie physique qui ont été publiés dans ces derniers temps ; nous mentionnerons en particulier ceux de MM. Keith Johnston, James Bryce et T. Weller, qui ont paru en Angleterre.

Distribution de la température dans les deux hémisphères.

Des recherches ont été faites par M. F. Vallès (1) sur la distribution des températures le long des côtes océaniques dans l'hémisphère boréal ainsi que dans l'hémisphère austral.

Les résultats qu'il a obtenus laissent, selon lui, planer quelque doute sur l'opinion généralement admise que l'hémisphère austral est plus froid que l'hémisphère boréal.

C'est en effet l'idée que M. Vallès émet, en considérant les deux hémisphères dans leur ensemble, terre et eau comprises. Car, pour la zône de 0° à 55° de latitude, la température moyenne est de 19°,49 pour l'hémisphère austral et de 19°,92 pour l'hémisphère boréal ; en sorte que la différence de température, qui est donnée par des calculs approximatifs, serait seulement de 0°,43 et par conséquent très-petite.

Mais si l'on considère spécialement les eaux, M. Vallès pense, que celles de l'hémisphère austral sont bien réellement plus froides

(1) *Bulletin de la Société météorologique*, 16 février 1869.

que celles de l'hémisphère boréal. Pour le montrer, il évalue l'étendue liquide de chaque zône avec la température qui lui est propre ; il fait la somme des produits de ces deux données et divise ensuite cette somme par celle des surfaces mouillées dans chaque hémisphère. Les résultats obtenus sont en partie résumés dans le tableau que nous donnons ici. Il convient du reste d'observer que les nombres inscrits dans les colonnes des surfaces mouillées sont seulement proportionnels à ces surfaces et devraient être multipliés par le rapport de la circonférence au rayon, si l'on voulait avoir les aires véritables, le rayon de la terre ayant été pris pour unité.

DÉSIGNATION des zônes.	HÉMISPHÈRE BORÉAL.		HÉMISPHÈRE AUSTRAL.	
	Températures	Surfaces mouillées.	Températures.	Surfaces mouillées.
De 0° à 5°	26,6	0,0688	26,1	0,0662
5° 10°	27,6	0,0666	25,6	0,0678
10° 15°	27,3	0,0663	24,5	0,0689
15° 20°	25,1	0,0608	23,4	0,0638
20° 25°	23,2	0,0535	22,2	0,0607
25° 30°	20,7	0,0467	20,3	0,0602
30° 35°	17,5	0,0440	18,2	0,0615
35° 40°	14,9	0,0404	15,4	0,0621
40° 45°	10,4	0,0368	12,4	0,0618
45° 50°	8,3	0,0252	9,4	0,0573
50° 55°	5,0	0.0221	6,1	0,0520
Totaux. . . .	»	0,5312	»	0,6818

A l'aide des données fournies par ce tableau, M. Vallès constate que la température des zônes moyennes considérées est de 21°,23 dans l'hémisphère boréal, et seulement de 18°,78 dans l'hémisphère austral ; la différence en faveur des eaux de l'hémisphère boréal serait donc de 2°,45.

Distribution des animaux et des plantes sur le globe.

Il est utile au géologue de connaître comment sont distribués les êtres qui peuplent actuellement notre globe. A cet égard on trouvera dans l'*Annuaire géographique* de M. Behm, pour 1870 et 1871, comme dans ceux des années précédentes, des résumés sur l'état de nos connaissances relativement à la distribution géographique des plantes ainsi que des animaux. Ces résumés sont faits par MM. A. Grisebach et L. K. Schmarda.

DEUXIÈME PARTIE.

LITHOLOGIE.

OUVRAGES SUR LES ROCHES.

Parmi les ouvrages nouveaux pouvant servir à l'étude des roches, mentionnons d'abord une huitième édition d'un livre éminemment classique, les *Éléments de minéralogie* de M. le professeur Ch. Naumann.

La *Minéralogie des volcans*, de M. C. Landgrebe (1) est une sorte de dictionnaire dans lequel l'auteur passe en revue tous les minéraux se trouvant dans les roches qu'il regarde comme volcaniques.

Le guide pratique de M. F. de Kobell (2) pour la détermination rapide des minéraux au moyen de recherches chimiques simples, a été traduit en français, et M. F. Pisani y a fait quelques additions.

M. Egleston (3) a publié les leçons de minéralogie qu'il a professées à l'École des mines de Columbia College.

— M. Friese (4) a décrit les roches diverses qui sont employées comme matériaux de construction dans l'étendue de l'empire d'Autriche. Après avoir fait connaître leurs propriétés au point de vue de l'ingénieur et de l'architecte, il indique, d'après M. H. Wolf, quels sont les étages géologiques auxquels elles appartiennent.

CLASSIFICATION DES ROCHES.

M. A. Kenngott (5) a publié une deuxième édition de son *Manuel de minéralogie*. Adoptant les idées d'Haïdinger, il répartit

(1) *Mineralogie der Vulcane*, 1870.

(2) Traduction de M. L. de la Tour du Pin; Paris, 1872.

(3) New-York, 1872.

(4) *Die Bausteine-Sammlung des Osterreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereins.*

(5) *Lehrbuch der Mineralogie*, 2e édition. Darmstadt, 1871. — 69 figures dans le texte.

les minéraux dans trois classes : les Acrogénides, qui sont habituellement à la surface de la terre ; les Géogénides, qui sont au contraire à l'intérieur de la terre ; les Phytogénides, qui sont considérés comme ayant une origine végétale. Les roches sont d'ailleurs spécialement décrites par M. Kenngott dans un appendice de son ouvrage, et sa classification générale pour les minéraux ainsi que pour les roches, est la suivante :

MINÉRAUX.

I. Acrogénides.

1° gaz ; 2° eau ; 3° acides ; 4° sels.

II. Géogénides.

1° haloïdes ; 2° baryte ; 3° malachite ; 4° opalins ; 5° stratite ; 6° phillites ; 7° zéolithes ; 8° felsites ; 9° sklérite (quartz et diamant) ; 10° minerais ; 11° métaux ; 12° pyrites ; 13° galénites ; 14° cinnabarites ; 15° soufre.

III. Phytogénides.

1° hydrides (mellite) ; 2° poix (succinite, ozokérite, naphte, asphalte).

ROCHES.

I. Roches cristallines ; — II. Roches porphyriques ; — III. Roches compactes ; — IV. Roches clastiques ; — V. Combustibles.

— M. St. Meunier (1) a donné une *Classification des roches* qu'il base sur leur composition minéralogique, en laissant de côté les conditions de gisement ou d'origine. D'après le nombre des minéraux essentiels constituants, les roches sont alors réparties en trois grandes divisions, et dites unitaires, binaires, ternaires.

La composition chimique des minéraux essentiels constituants sert à M. Meunier à établir des séries qui correspondent aux oxydes, aux carbonates, aux silicates, etc. Dans la seconde division, les roches sont caractérisées par la présence simultanée d'un oxyde et d'un silicate ou de deux oxydes, etc. Dans la troisième division, elles sont caractérisées par la présence de trois minéraux.

La variété minéralogique des minéraux essentiels constituants donne lieu à des sous-groupes.

La structure n'intervient que dans les groupes et seulement pour y caractériser les types.

D'un autre côté, les minéraux accidentels servent à distinguer les variétés ; ainsi, dans le granite porphyroïde, on distingue celui qui est amphibolifère, pinitifère, etc.

(1) *Comptes rendus*. LXXII, 352.

— Mentionnons encore une classification spéciale, donnée par M. Geikie (1) pour les roches éruptives tertiaires des Iles Britanniques. L'auteur l'a résumée dans le tableau suivant qui indique en outre le mode de gisement de ces roches :

	Série feldspathique					Série pyroxénique					
	Syénite.	Eurite et porphyre quartzifère.	Trachyte et porphyre trachytique.	Rétinite.	Porphyrite.	Dolérite.	Basalte.	Tachylite.	Euphotide.	Tufs feldspathiques.	Tufs et conglomérats pyroxéniques.
I. *Roches interstratifiées contemporaines.*											
A. Cristallines — en nappes.			?	*	*	*	*		*		
B. Fragmentaires — en couches.										?	*
II. *Roches d'intrusion ou postérieures.*											
A. Cristallines.											
α Masses amorphes.	*	*	?			?					
β Nappes.						*	*				
γ Dykes et filons.	*	*	?	*		*	*	*			
δ Amas.		?					?				
B. Fragmentaires — en amas.											*

M. Geikie observe, à cette occasion, que les roches volcaniques de l'île de Skye ont été regardées à tort comme jurassiques ; car leur stratification avec les couches de ce terrain n'est qu'apparente : les basaltes de Skye lui paraissent être un simple prolongement de ceux de l'île de Mull qui sont miocènes.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES ROCHES.

Étude microscopique des roches.

On a continué, particulièrement en Allemagne et en Angleterre, à s'occuper d'une manière très-active de l'étude microscopique des roches. Après qu'elles ont été réduites par l'usure en lames transparentes très-minces, elles sont examinées sous un grossissement plus ou moins fort, et avec la lumière polarisée. Nous ferons connaître les principaux résultats qui ont été obtenus, mais seulement à mesure que viendra la description de chaque roche.

— Un procédé pour dégager les fossiles se trouvant dans les cal-

(1) *Geological Society*, XXVII, 279.

caires compactes a été employé avec succès par M. de Koenen (1). Il consiste à chauffer légèrement ces calcaires et à les plonger ensuite dans une dissolution de borate de soude, saturée à chaud.

Usure des roches par le frottement.

Des expériences ont été faites par M. Muller (2) dans le but de comparer l'usure produite par du sable quartzeux de Fontainebleau à la surface d'une dalle sur laquelle frottait un bloc, recevant, par le moteur d'une usine, un mouvement de va-et-vient, et chargé d'un poids de 40 kilogrammes par décimètre carré. Après 20.000 coups du bloc useur, M. Muller mesurait l'usure de la dalle au moyen d'un appareil micrométrique qui lui permettait d'apprécier le centième de millimètre :

NATURE DE LA DALLE en expérience.	USURE DE LA DALLE en centièmes de millimètre.
Quartzites bleus et roses, employés au pavage de Paris. .	11
Granite des trottoirs de Paris.	31
Calcaire carbonifère bleu de Soignies (Belgique). . . .	106
Pierre blanche de Vendargues (Hérault).	102
Pierre d'Argenton.	227

Ces expériences montrent bien que le granite s'use à peu près trois fois plus que le quartzite et au contraire trois fois moins qu'un calcaire, même dur, compacte et donnant, comme celui de Soignies, une pierre à bâtir d'excellente qualité.

Usure des roches par un jet de sable.

Des expériences faites par M. Tilghmann (3) montrent que les roches les plus dures sont rapidement usées et même perforées par un jet de sable projeté directement, ou bien entraîné par un fluide en pression, tel que l'air ou la vapeur d'eau.

Ainsi, en employant de la vapeur à 7 atmosphères, les roches étant placées à 25 millimètres du jet de sable quartzeux qui s'échappe d'une sorte d'injecteur, l'usure a atteint par minute :

24,58 centimètres cubes pour le granite ;

49,17 centimètres cubes pour le marbre ;

163,9 centimètres cubes pour le grès tendre.

Avec de la vapeur à 20 $\frac{1}{2}$ atmosphères, M. Tilghmann est même

(1) *Sitzungsberichte der Gesellschaft etc. zu Marburg.* Mai, 1872.

(2) Société des ingénieurs civils, 19 janvier 1872.

(3) Thirion. *La propagation industrielle.* — Revue mensuelle.

parvenu à percer, en vingt-cinq minutes, un trou de 37 millimètres de diamètre dans une plaque de corindon, ayant 37 millimètres d'épaisseur.

Cette facilité, véritablement surprenante, avec laquelle un jet de sable corrode les roches, a été utilisée par M. Tilghmann dans l'industrie. Elle explique bien comment le vent, qui entraîne du sable, polit la surface des roches; elle montre aussi que les roches doivent être usées très-rapidement par les sables et par les graviers qu'entraînent les cours d'eau.

Influence de la pression sur les propriétés chimiques et physiques.

Pour parvenir à se rendre compte des phénomènes qui se produisent à l'intérieur de l'écorce terrestre, il serait nécessaire de bien connaître les modifications qu'une forte pression apporte dans les propriétés physiques et chimiques des roches. Parmi les recherches faites récemment dans cette direction, nous mentionnerons celles de M. F. Pfaff (1).

Opérant dans un cristal de quartz de 8 centimètres de long, qui avait été percé d'un trou cylindrique, et dans lequel il pouvait au besoin obtenir des pressions de 2.000 atmosphères, M. Pfaff a constaté qu'à une température inférieure à 5° et sous une pression de 60 atmosphères, l'acide nitrique étendu ne décompose plus la chaux carbonatée. De même, à 20° et à une pression de 80 atmosphères, l'acide sulfurique et le zinc ne donnent plus aucun dégagement d'hydrogène. Ces résultats s'accordent avec ceux observés par MM. Berthelot, Cailletet, C. Meyer, et il est visible que la pression tend à entraver les actions chimiques les plus énergiques.

M. Pfaff a constaté de plus que la pression modifie beaucoup les actions physiques.

En effet, la pression s'oppose à ce que le plâtre cuit reprenne de l'eau pour repasser à l'état de gypse. Elle s'oppose également aux effets de la capillarité.

Comme, dans l'intérieur de la terre, chaque couche de 4 mètres d'épaisseur produit à peu près un accroissement de pression d'une atmosphère, l'on conçoit combien il est important de tenir compte de la pression, surtout dans les études relatives au métamorphisme et dans la géologie souterraine.

---

(1) *Neues Jahrbuch*. 1871, 834.

Sel marin dans les roches.

La présence du sel marin dans les roches sédimentaires ou éruptives a déjà été constatée à différentes reprises, et récemment M. Renier Malherbe (1) a fait exécuter par M. Renard, au laboratoire de l'École des mines de Liége, un certain nombre d'essais pour en connaître exactement la proportion dans quelques roches du terrain houiller.

Divers grès houillers des mines du Borinage ont donné de 0,0081 à 0,0051 pour la teneur en chlore; parmi les schistes houillers, les uns renfermaient jusqu'à 0,0085 de chlore, tandis que les autres n'en décelaient pas la moindre trace.

Nous ferons observer au sujet de ces recherches que l'existence du sel marin dans des roches sédimentaires n'accuse pas nécessairement un dépôt marin; car le sel marin est l'une des substances les plus répandues dans la nature, et il se rencontre souvent dans les dépôts lacustres.

Il faut remarquer aussi que les eaux souterraines profondes contiennent fréquemment du sel marin, comme on l'a reconnu dans différents sondages; par conséquent des roches poreuses, telles que le grès houiller, pourraient bien avoir été imprégnées de sel postérieurement à leur dépôt.

Acide phosphorique dans les roches.

MM. Charles Sainte-Claire Deville, Rammelsberg et divers chimistes ont montré que les roches, soit éruptives, soit stratifiées, contiennent de l'acide phosphorique; l'on sait même que des cristaux parfaitement reconnaissables d'apatite ou de vivianite peuvent s'y rencontrer (2). Dans ces derniers temps, M. Constant Kosmann (3) a fait des recherches sur ce sujet et a constaté que beaucoup de roches renferment des proportions d'acide phosphorique notablement plus grandes qu'on ne le pensait.

Ainsi, le porphyre bleuâtre, à base d'oligoclase des environs de Schirmeck et d'Ottrott, dans les Vosges et en Alsace, contient de 1,79 à 1,95 p. 100 d'acide phosphorique; le porphyre syénitique de la côte de Sainte-Marie-aux-Mines en a 1,92 p. 100; un autre porphyre syénitique de Thann en renferme encore 0,68 p. 100; une grauwake métamorphique de Turckheim en contenait 1,43 p. 100; tandis qu'il n'y en avait pas dans un schiste argileux du terrain

(1) *Revue universelle*, t. XXVII, p. 264. Liége, 1870.
(2) *Revue de géologie*, VIII. 12.
(3) *Bibliothèque universelle*, Genève, 1871.

carbonifère de Thann. Suivant M. Kosmann, l'acide phosphorique se trouve dans ces différentes roches à l'état de vivianite.

D'un autre côté, M. Grandeau (1) a reconnu récemment que les granites des Vosges renferment aussi des proportions très-sensibles d'acide phosphorique qu'il pense être aussi combiné avec le fer et non pas avec la chaux ; il en a trouvé 0,33 dans le granite commun ; 0,38 dans le granite syénitique ; 0,48 dans le granite porphyroïde.

Des proportions plus ou moins élevées d'acide phosphorique ont également été rencontrées par M. Kosmann dans des calcaires appartenant au muschelkalk ou bien au jurassique de l'Alsace et de la Suisse. Elles ont varié depuis quelques millièmes jusqu'à 1,73 p. 100, et cet acide phosphorique était d'ailleurs à l'état de phosphate tribasique de chaux.

En outre, M. A. Knop a observé de l'apatite et de très-notables proportions d'acide phosphorique dans le calcaire grenu de Schelingen (Kaiserstuhl).

M. Fr. Sandberger (2) a constaté que la péridotite contient aussi de petites quantités d'apatite. Il a reconnu ce minéral dans la péridotite enveloppée par le basalte de Naurod, dans celle d'Unkel et de Beilstein. D'après M. Hilger, la lherzolite en renferme de 0,10 à 0,11 p. 100. Enfin il y en a également dans les serpentines de Zöblitz et Todtmoos.

L'apatite se rencontre quelquefois dans le granite ; en particulier, M. J. Strüver (3) l'a observée dans les druses du granite de Baveno où elle est asssociée à de la chaux fluatée et à de la laumonite.

M. G. Ulrich (4) a signalé de la vivianite dans le guano des îles du détroit de Bass.

Enfin MM. Petersen et Sandberger (5) ont appelé l'attention sur la grande fréquence de l'acide phosphorique, ainsi que du chlore et du fluor dans les roches éruptives, notamment dans le basalte, l'anamésite, la dolérite, l'hypérite, la diabase et les porphyrites.

---

(1) *Journal d'agriculture pratique*, 1872 : II, 690.
(2) *Neues Jahrbuch*, 1871, 621.
(3) *Note mineralogiche*. Torino, 1871.
(4) *Contributions to the Mineralogy of Victoria*. 1870.
(5) *Neues Jahrbuch*, 1869.

ROCHES.

Nous allons résumer maintenant les principaux travaux qui ont été publiés sur les différentes roches, en nous attachant surtout à faire connaître leur composition minéralogique et chimique. Pour comparer les analyses nouvelles avec celles qui ont été faites antérieurement, on pourra d'ailleurs avoir recours aux ouvrages de M. Justus Roth et aux volumes précédents de la *Revue de géologie*.

Roches carbonées.

Pétrole.

INDIANA. — Un sondage pratiqué à Terre-Haute dans l'État d'Indiana, a amené la découverte d'une nappe de pétrole, lorsqu'on a atteint la profondeur de 540 mètres. D'après MM. Sterry Hunt et Cox (1), cette nappe d'huile minérale est située dans le calcaire cornifère du terrain dévonien. De plus, il paraît que la localité de Terre-Haute se trouve sur l'alignement d'un pli anticlinal bien marqué.

Asphalte.

ALLEMAGNE. — M. A. de Strombeck (2) a décrit un gîte d'asphalte, appartenant à l'étage inférieur du Portlandien, qui a été découvert récemment à Wintjenberg (Brunswick). On exploite, sur une épaisseur d'environ 5 mètres, le calcaire portlandien, qui est devenu brun noirâtre et a été imprégné d'asphalte. La proportion de ce dernier peut s'élever jusqu'à 18 pour 100.

A Limmer, près de Hanovre, on trouve également de l'asphalte, mais à un niveau plus bas que le précédent et dans les couches à ptérocères du Kimmeridgien.

Dans le Hanovre et même dans le Brunswick, il existe aussi des sources de pétrole; d'après M. H. Eck, elles sont dans le Néocomien et au niveau du Hils moyen qui correspond aux marnes d'Hauterive.

M. de Strombeck pense que, dans le nord-ouest de l'Allemagne, l'asphalte, comme le pétrole, proviennent de la décomposition des lignites du Wealdien qui auraient donné lieu à une infiltration locale et par en haut.

(1) *Americ. Journ.* (3), II, 369.
(2) *Deutsche Geologische Gesellschaft*, XXXIII, 277.

Lignite.

Budafa, Köflach. — M. D. Stur (1) a exploré les lignites tertiaires de la seigneurie de Budafa en Hongrie ; d'après M. Ch. de Hauer, voici leur composition moyenne (A) et celle des lignites de Köflach (B) :

	Eau.	Cendres.	Soufre.
A	25,3	9,5	1,7
B	14,1	4,1	0,0

Bien que les lignites de Budafa contiennent deux fois plus d'eau et de cendres que ceux de Köflach, leur pouvoir calorifique n'est pas très-inférieur à celui de ces derniers.

Des sondages ont montré qu'il y en a deux étages.

Houille.

M. Warington W. Smyth (2), a publié un ouvrage spécial sur la houille, dans lequel il donne des renseignements sur le gisement de ce combustible minéral, non-seulement dans le Royaume-Uni, mais encore dans toutes les parties du monde. Cet ouvrage a été traduit en français et annoté par M. Gustave Maurice, ingénieur civil des mines.

Gaz de la houille.

Des recherches ont été faites par M. E. Mayer (3) sur les gaz contenus dans quelques houilles de l'Allemagne. Ainsi, il a trouvé pour un échantillon :

Acide carbonique 16,9 ; gaz des marais 20,4 ; azote 53,3 ; oxygène 1,7 ; hydrogène percarburé, 7,7.

On peut observer que ce gaz contient peu d'oxygène et au contraire beaucoup d'azote.

Pays de Galles. — Pour le chauffage des locomotives du Metropolitan Railway de Londres, on emploie une houille anthraciteuse de Bwlfa-Merthyr dont voici la composition, d'après un essai fait à l'École des mines de Londres :

C	Matières volatiles.	Cendres.	Somme.
87,90	11,80	0,30	100.00

Cette houille est remarquable par la proportion très-faible de ses cendres.

(1) *Jahr. der K. K. geologischen Reichsanstalt.* 1869 ; 341.
(2) *La houille et l'exploitation des houillères en Angleterre.*
(3) *Franklin Institute*, LXIII, 87.

FRANCE, BELGIQUE, ALLEMAGNE. — MM. A. Scheurer-Kestner, et Ch. Meunier (1) ont fait un grand nombre d'expériences pour déterminer la chaleur de combustion de la houille; de plus ils ont donné des analyses complètes des houilles provenant des bassins de Ronchamp (Haute-Saône), de Saarbruck (Prusse), de Blanzy et du Creuzot (Saône-et-Loire).

Bassin de Ronchamp.

A, B, C, D.; échantillons divers.

Bassin de Saarbruck.

E. Houille de Dutweiler.
F. Houille d'Altenwald.
G. Houille de Heinitz.
H. Houille de Friedrichsthal.
I. Houille de Louisenthal.
J. Houille de la mine von der Heydt.
K. Houille de Soulzbach.

Ces houilles sont de la qualité dite deuxième.

Bassin de Blanzy.

L. Qualité dite tout-venant, de Montceau.
M. Qualité dite Marlborough anthraciteuse.

Bassin belge.

N. Houille de Denain.
O. Houille d'Anzin.

Bassin du Creuzot.

P. Houille anthraciteuse.
Q. Houille maigre du puits Saint-Paul.
R. Houille mi-grasse du puits Saint-Paul.
S. Houille grasse du puits Chapsal, grande veine.

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique* (4e série), t. XXXI (1870), p. 436. — Extrait par M. Guyerdet.

	COMPOSITION des houilles.				COMPOSITION de la partie volatile.				CARBONE	
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.	fixe.	des hydro-carbures.
A	89,96	5,09	3,67	1,28	63,41	18,58	13,12	4,89	80,67	19,33
B	88,38	4,42	6,00	1,20	59,10	15,47	24,18	4,25	81,00	19,00
C	87,43	4,56	6,87	1,14	55,98	16,28	23,74	4,00	81,70	18,30
D	87,49	5,10	6,05	1,35	50,49	20,19	23,98	5,34	85,42	14,58
E	83,82	4,60	10,87	0,71	56.46	12,12	29,21	1,91	74,97	25,03
F	83,14	4,73	11,85	0,66	53,79	12,99	31,36	1,86	76,32	23,68
G	80,49	4,71	14,12	0,68	49,23	12,26	36,75	1,76	76,40	23,60
H	78,97	4,67	15,77	0,59	49,40	11,24	37,94	1,42	74,00	26,00
I	76,87	4,68	17,85	0.60	47,80	10,79	40,03	1,33	73,05	26,95
J	81,56	4,98	13,46	?	52,73	12,76	34,51	»	74,72	25,28
K	83,05	4,95	12,00	»	49,70	14,68	35,62	»	79,84	20,16
L	78,58	5,23	16,19	?	58,20	10,26	31,60	»	62,04	37,96
M	87,02	4,72	8,26	?	49,01	18,54	32,45	»	85,65	14,35
N	83,94	4,43	11,63	?	46,00	14,90	39,10	»	83,81	16,19
O	84,45	4.21	11,32	?	31,80	18,70	49,50	»	91,44	8,56
P	92,36	3,66	3,98	?	34,50	34,30	31,20	»	95,66	4,34
Q	90,79	4,24	4,97	?	42,00	36,70	31,30	»	92,65	7,35
R	90,07	4,10	5,83	?	51,60	20,10	28,30	»	88,20	11,80
S	88,48	4,41	7,11	?	41,16	22,52	36,32	»	90,88	9,12

Les auteurs font observer que des houilles qui possèdent la même composition élémentaire peuvent cependant différer de 500 calories; mais, lorsqu'on a soin de dégager de l'analyse la composition de la partie volatile, on trouve que la composition immédiate des houilles, présentant ces différences dans leur chaleur de combustion, est loin d'être la même dans les unes et dans les autres; c'est, par exemple, ce que l'on peut constater dans les deux échantillons de Ronchamp et du Creuzot.

Tous les échantillons de houille dont MM. Scheurer-Kestner et Meunier ont déterminé la chaleur de combustion ont donné des résultats supérieurs à la somme des chaleurs de combustion des éléments.

M. A. Scheurer-Kestner a encore entrepris de nouvelles recherches sur les produits gazeux fournis par la combustion de la houille. Il a opéré sur de la houille de Ronchamp renfermant en nombres ronds:

Cendres	21,0	Oxygène	4,0
Carbone	70,0	Azote	1,0
Hydrogène	4,0	Somme	100,0

Voici quelques-uns des résultats obtenus par M. Scheurer-Kestner:

Composition des gaz en centièmes						Par kilogramme de houille.	
			Gaz combustibles.			Total.	
Azote.	Acide carbonique.	Oxygène.	Oxyde de carbone.	Vapeur de carbone.	Hydrogène.	Quantités.	Centièmes de carbone.
						grammes.	
80,38	14,87	1,41	0,84	1,15	1,35	133,6	18,8
80,66	14,63	2,80	0,86	0,49	0,56	83,5	11,9
80,23	13,43	4,42	0,24	0,32	1,41	44,5	6,3
79,76	10.87	8.99	»	0,19	0,19	26,7	3,10
79,86	8,23	11,35	»	0,04	0,59	6,75	0,9

RUSSIE. — M. Wreden (1) a analysé des houilles de la Russie provenant surtout du bassin du Donetz et de l'ouest de l'Oural (Gouvernement de Perm).

Voici quelques-unes de ces analyses ;

A. Houille noire, brillante, cassure conchoïde (analogue aux houilles de Blanzy et de Commentry) ; d'Alexandroffsky.
B. Noire, anthraciteuse, à texture poreuse et à cassure inégale ; de Nijne-Chanjou Koffsky.
C. Grasse, brillante, sulfureuse, parsemée de surfaces mates, à cassure sub-conchoïde, à flamme longue et fuligineuse ; de Goluboffsky.
D. Servant à faire le gaz, cassure inégale, flamme longue, fuligineuse ; de Pleschtschejeffsky.
E. Maigre, éclat gras, cassure inégale, texture lâche, flamme courte, non fuligineuse ; de Charzyšky.

	Poids spécifique.	Rendement en coke.	Eau contenue dans la matière séchée à l'air.	Pouvoir calorifique.	C	H	O et Az	Cendres.	Soufre.
A	1,29	62.61	0,93	8002	82,02	5,25	6.73	3,19	2,81
B	1,33.	81,99	2,14	8269	88,83	4,68	5,98	0,51	»
C	1,28	61,69	3,41	7235	77,32	5,35	12,22	5,11	»
D	1,27	51,75	8,56	6796	76,69	5,79	15,12	2,40	»
E	1,44	74,87	8,27	6336	80,11	3,40	14,44	1,17	0,88

OHIO. — Le professeur Wormley (2) a fait de son côté des analyses bien complètes des houilles de l'Ohio. Citons en particu-

(1) *Revue universelle*, t. XXVII, p. 434. Liége, 1870.
(2) *Geological Survey of Ohio*. 1870, 130, 403.

lier celles de la houille très-pure de Jacob Sells, prise soit à la partie inférieure de la couche (A), soit à sa partie supérieure (B).

	A	B
Densité	1,298	1,272
Eau	8,50	8,65
Matières volatiles	32,20	28,45
Carbone fixe	56,95	62,13
Soufre	0,91	0,68
Soufre resté dans le coke	0,00	0,30
Analyse élémentaire.		
Carbone	70,46	73,48
Hydrogène	5,69	5,48
Azote	1,82	1,40
Soufre	0,91	0,68
Oxygène	18,77	18,19
Cendres	2,35	0,77
Somme	100,00	100,00

Composition des cendres.

	SiO^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO NaO	PO^5	SO^3	S	Somme.
A... Pour 100 de cendres.	44,60	41,10	7,40	3,61	1,28	1,82	0,29	0,58	0,03	100,71
A... Pour 100 de houille.	1,05	0,97	0,17	0,09	0,03	0,04	0,01	0,01	0,001	2,371
B... Pour 100 de cendres.	37,63	40,89	9,77	6,25	1,56	1,30	0,52	1,95	0,13	100,00
B... Pour 100 de houille.	0,289	0,314	0,075	0,049	0,012	0,010	0,004	0,015	0,001	0,768

L'analyse des cendres de houille montre qu'elles contiennent acide phosphorique, potasse, chaux, magnésie, etc., et offre de l'intérêt, à cause de leur emploi dans l'agriculture. Si l'on défalque l'alumine dont la présence tient à un mélange d'argile, cette analyse donne d'ailleurs quelques notions sur les matières minérales qui ont été assimilées par les plantes de l'époque houillère.

— On doit encore à M. Wormley différentes recherches sur les propriétés de la houille.

Ainsi, M. Wormley a constaté ce fait assez singulier, vrai en tout cas pour l'Ohio, qu'à une température de 115° centigrades, la houille pulvérisée perd généralement moins de son poids dans un temps donné, qu'à la température de 100°. D'après cela, si une houille est préalablement desséchée à 100°, puis exposée à une chaleur de 115°, elle devra augmenter lentement de poids par une absorption d'oxygène. D'un autre côté, lorsque la houille est chauffée à 115° dans une atmosphère de gaz acide carbonique, sa perte est généralement beaucoup plus grande qu'à 100°.

M. Wormley observe aussi que la houille pulvérisée perd seulement de l'humidité pendant les deux premiers mois, mais qu'ensuite elle perd de la matière combustible volatile, la proportion de carbone fixe allant en augmentant. C'est du reste conforme à ce que l'on a reconnu depuis longtemps; car la houille éprouve des altérations lorsqu'elle est exposée à l'action de l'atmosphère, et pour une analyse précise de combustible, l'on devra toujours faire choix d'un échantillon frais, en ayant soin de rejeter sa surface.

En ce qui concerne la proportion de la matière combustible volatile, M. Wormley a reconnu, par une série d'analyses, qu'elle varie de 28 à 40 p. 100 du poids de la houille. De plus la proportion de matière gazeuze fixe, dégagée de la houille, n'est pas toujours en rapport direct avec la matière combustible volatile. Par exemple, une houille contenant seulement 27,70 p. 100 de matière combustible volatile a dégagé 3,32 pieds cubes de gaz fixe par livre; tandis qu'une autre, contenant 38,80 p. 100 de matière combustible volatile, a dégagé seulement 3,03 p. 100 par livre.

Enfin MM. Wormley et Andrews ont encore reconnu que, contrairement à l'opinion généralement adoptée, le soufre de la houille n'est pas toujours complétement combiné avec le fer. En effet, une houille de Straitsville renfermait 0,57 p. 100 de soufre sur lequel 0,26 était resté dans le coke; d'un autre côté, cette houille ne renfermait que 0,075 p. 100 de fer qui, pour se changer en pyrite ou en bisulfure, exigeait seulement 0,086 de soufre; par conséquent, 0,48 de soufre devait être engagé dans d'autres combinaisons que la pyrite.

Voici, comme exemple, les résultats de plusieurs analyses entreprises, par MM. Wormley et Andrews pour éclairer cette question :

Soufre dans la houille.	0,57	0,98	0,91	0,86	4,04
Fer dans la houille.	0,075	0,086	0,122	0,052	2,050
Soufre combiné avec le fer. . . .	0,086	0,097	0,139	0,060	2,343

Il est donc bien visible que la plupart des houilles de l'Ohio ont généralement une quantité de soufre, notablement plus grande que celle qui est nécessaire pour former de la pyrite avec le fer qu'elles contiennent.

Il serait intéressant de généraliser ces recherches de M. Wormley et de les étendre aux différentes espèces de combustibles.

Boghead.

Murajewinsk. — Jusqu'à présent le *Boghead* n'était guère connu qu'en Écosse et à Nürschan dans le nord de la Bohême, où il se

désigne sous le nom de *Brettelkohle* ou de *Blættelkohle;* mais des recherches, faites surtout par M. Barbot de Marni, ont montré son existence à Murajewinsk ou à Murajewna, dans le gouvernement de Rjäsan en Russie.

Sa densité est seulement 1,114 à Murajewinsk, tandis qu'elle est 1,162 en Écosse, et qu'elle varie de 1,237 à 1,259 en Bohême. Si elle est plus grande dans ces derniere gisements, cela tient au mélange d'une plus forte proportion de matières terreuses.

C	H	O,Az	S	Fe	Matières terreuses.	Somme.
69,94	7,87	11,53	2,46	2,15	6,25	100,20

Ce Boghead de Russie est très-pur et possède toutes les propriétés de celui de l'Écosse; il pourrait servir à fabriquer le gaz de l'éclairage dans le nord et dans le centre de l'empire; il forme une couche de 1 mètre à 2^m,3 qui est intercalée entre des bancs calcaires dont la paléontologie demanderait à être bien étudiée, pour permettre de comparer son âge avec celui des bogheads de l'Écosse et de la Bohême.

Anthracite.

Russie. — Des anthracites ont été analysées par M. Wreden :

I. Anthracite sulfureuse, brillante, à cassure conchoïde et analogue aux anthracites de Pensylvanie; de Ratjeinikoffsky.
II. Anthracite sans éclat et à cassure inégale; de la même provenance.

	C	H	O et Az	CENDRES.	EAU contenue dans la matière séchée à l'air.	POIDS spécifique.	POUVOIR calorifique.
I	95,38	2,25	6,48	5,89	4,71	1,59	69,63
II	84,25	3,69	3,50	8,56	2,21	1,46	76,82

Combustibles divers.

M. Ch. Mène a publié des analyses d'un grand nombre de houilles et de combustibles fossiles de la France; on les trouvera dans le journal *la Houille*.

Comme l'avait fait précédemment M. de Marsilly, M. Warrentrapp (2) a étudié les altérations que les combustibles éprouvent par leur exposition à l'air, ainsi que les inconvénients qui en résultent pour la fabrication du gaz et du coke et pour le chauffage.

(1) *Neues Jahrbuch*. 1871, 533.
(2) Ch Mène : *Revue hebdomadaire de chimie*, 1872, 588.

— M. K. Haushofer (1) s'est occupé de l'examen microscopique des combustibles réduits en tranches très-minces et transparentes. Les véritables houilles, qui sont compactes, ne présentent pas des vaisseaux ni des cellules, non plus que des débris qu'on puisse avec certitude rapporter à des plantes. Quoiqu'on observe dans le Cannelcoal et dans le Pechkohle du terrain houiller de Zwickau des cavités arrondies ou irrégulières, elles peuvent aussi bien être attribuées à des concrétions. Dans le Pechkohle provenant du terrain de mollasse de la Bavière méridionale, les traces de plantes sont également incertaines.

Quant aux lignites, tantôt ils montrent bien la structure et les fibres du bois; tantôt, comme ceux de Teplitz, ils ressemblent beaucoup à de la tourbe compacte, ce qui prouve qu'ils se sont formés comme elle dans des marais tourbeux.

Le Boghead présente une structure microscopique qui rappelle celle du lignite et de la tourbe; il se laisse réduire en tranches transparentes beaucoup plus facilement que la houille.

En traitant des tranches minces de lignites par une lessive de potasse, par la benzine, par le sulfure de carbone, par l'alcool, M. Haushofer a constaté que leurs parties claires ne se modifient pas plus que celles des houilles et par suite elles ne sauraient être considérées comme des concrétions résineuses.

Diamant.

OURAL. — M. de Jeremejew (2) annonce la découverte de cristaux microscopiques de diamant dans la xanthophyllite des monts Schischimskisch dans l'Oural. Avec un grossissement de deux cents fois, on peut, suivant lui, déterminer exactement la forme des cristaux dont une partie des faces sont courbes. Ces cristaux, presque tous incolores et parfaitement transparents, sont alignés parallèlement à la gangue avec leurs axes perpendiculaires au clivage de la roche. Ils abondent au contact des plaques vertes de xantophyllite avec la serpentine et avec les schistes talqueux.

SUD DE L'AFRIQUE. — Quelques détails sur les gisements diamantifères du sud de l'Afrique ont été donnés par MM. John Shaw et Stow (3). D'après M. Shaw, les diamants y seraient originaires d'une roche métamorphique qui est probablement un schiste tal-

(1) *Neues Jahrbuch.* 1871, 396.
(2) *Geol. Mag.*, VIII, 476.
(3) *Geol. Society*, 8 nov. 1871.

queux. M. Stow est beaucoup moins affirmatif et se borne à établir que les diamants, trouvés dans les graviers de la rivière Vaal, portent les traces d'un long transport, auquel l'action de la glace n'aurait pas été étrangère.

Il y a cependant une localité, appelée Du Toit's Pan, où les diamants ne sont pas roulés et se trouvent associés au péridot et au spinelle, en cristaux à arêtes vives : serait-ce un des centres de création du diamant africain? Pourtant MM. Ward et Rupert Jones ont vainement examiné au microscope les sables de cette localité, sans pouvoir y découvrir de menus diamants.

AUSTRALIE. — M. Mackay (1) a visité les mines de diamant du Cudgegond en Australie. Le gisement le plus riche est dans des alluvions anciennes situées à 10 ou 15 mètres au-dessus du niveau actuel de la rivière, et considérées comme appartenant au pliocène inférieur. L'or y est associé au diamant et provient des roches siluriennes de la contrée ; quant au diamant, si l'on observe que, dans les alluvions anciennes, ses cristaux sont, presque sans exception, parfaitement formés et non roulés, tandis que ceux qu'on rencontre dans les alluvions modernes de la vallée portent des traces manifestes du transport qu'ils ont subi avec les cailloux et les galets, on sera porté à croire que le diamant a été formé dans les alluvions anciennes et de plus postérieurement à leur dépôt. D'un autre côté, le diamant peut avoir la même origine que les détritus de roches dont ces alluvions sont constituées. Il faut donc attendre de nouvelles observations pour pouvoir en conclure quelque chose relativement au mode de formation du précieux minéral dans cette région.

CAROLINE DU NORD. — D'après M. A. Genth (2), le diamant et le graphite se rencontrent dans la Caroline du Nord : le graphite, en couches interstratifiées au milieu du gneiss ou du micaschiste ; le diamant, parmi les débris de ces roches, avec l'or, le zircon, le grenat et d'autres minéraux.

Le diamant n'existe pas dans l'itakolumite de la Caroline, ce qui fait supposer à M. Genth, ou bien que l'itakolumite du Brésil est une roche quartzeuse et micacée contemporaine des micaschistes du nord, ou que si elle appartient à une formation plus récente, le

(1) *Geol. Mag.*, VIII, 376.
(2) *Journal of the Franklin Institute*, LXIII, 127.

diamant qu'on y rencontre provient de roches anciennes, et a été conservé seulement à cause de sa plus grande dureté.

Sept ou huit diamants ont ont été trouvés dans la Caroline du Nord : quelques-uns d'entre eux étaient des cristaux de première eau.

Terres végétales.

Lorsqu'un même végétal est cultivé dans des terres différentes, il y absorbe des quantités de sel marin qui sont très-inégales. En effet, M. Pagnoul (1) a constaté que les cendres de betteraves en renferment 0,024 dans le département de la Marne ; 0,260 à Montreuil-sur-Mer; et 0,413 dans la Limagne d'Auvergne. La terre de la Limagne contient donc beaucoup plus de sel marin que celle de la Marne et même que celle de Montreuil, qui est cependant près de la mer; ce résultat peut d'ailleurs s'expliquer par la circonstance que la Limagne est en partie formée de débris de roches volcaniques et granitiques qui sont souvent imprégnées de sel marin.

—En analysant des terres de polders, formées à différentes époques et situées à l'est de la Frise, M. Prestel (2) a cherché à évaluer les modifications séculaires qu'elles éprouvent dans leur composition chimique. M. Prestel a cru reconnaître une augmentation de l'oxyde de fer et de l'alumine, tandis qu'il y aurait au contraire une diminution de la chaux ainsi que de l'acide carbonique. La proportion des sulfates solubles a paru réduite à $\frac{1}{7}$, et celle des chlorures à $\frac{1}{3}$. Quant à la proportion du phosphate, elle avait aussi diminué, mais très-légèrement.

STANTON HARCOURT. — Une terre végétale marno-argileuse se trouvant sur le bord de la Tamise, en amont d'Oxford, a été analysée par M. Wœlcker (3). Elle forme le sol d'une prairie qui, chaque année, est atteinte par les inondations de la Tamise et appartient par conséquent aux dépôts des rivières actuelles. L'analyse a eu lieu sur la terre desséchée à 100 degrés :

Matière organique et eau.	Argile inattaquable.	PO^5	Al^2O^3	FeO	MgO	KO	NaO	CaO,CO^2	CaO,SO^3	Somme.
13,97	38,86	0,47	7,29	5,11	0,67	0,56	0,21	32,31	0,65	100,00

(1) Ch. Mène. *Revue hebdomadaire de chimie*, 3 novembre 1871.
(2) *Der Boden der Ostfriesischen Halbinsel*, 1870.
(3) *Royal agricultural Society*. [2] VI, 373.

Bretagne. — La terre de la lande de Grandchamp a été examinée par M. Bobierre, qui a obtenu, en bloc, pour son analyse élémentaire (1) :

Gravier quartzeux.	Silice	Al^2O^3,Fe^2O^3	CaO	Sels alcalins.	Divers.	Eau et matière organique.	Racines.	Somme.
5,66	62,50	5,02	1,43	1,25	1,65	18,18	4,31	100,00

Cette terre est riche en silice et pauvre en alumine. On n'y trouve que des traces d'acide phosphorique. Les sels alcalins sont des carbonates, des chlorures avec des traces de sulfates et de silicates; ils sont surtout localisés dans les nombreuses radicelles dont les débris sont mélangés à la couche supérieure de la lande.

Charente-Inférieure. — Il existe dans le département de la Charente-Inférienre de vastes étendues de terrains marécageux qui sont formés par ce qu'on appelle la *terre de Bri*, et dont une partie seulement a été mise en culture. M. Léon Durand-Claye a analysé un échantillon de cette terre qui était noir, provenait d'un marais non cultivé et qui avait été remis par M. de Beaucé, ingénieur en chef des ponts et chaussées :

	SiO^2	PO^5	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	CO^2, etc.	Eau et matières organiques	Somme.
Terre noire, à l'état naturel.	1,11	0,08	1,36	9,43	0,11	0,05	0,18	6,50	81,18	100,00
Idem desséchée.	2,50	0,20	3,05	21,20	0,25	0,10	0,10	14,60	57,70	99,70

Pays de Caux.—M. Marchand (2) a analysé des terres végétales du Pays de Caux qui ont été prises aux environs de Fécamp :

	Sable siliceux.	Argile.	Oxyde de fer.	Carbonate de chaux.	Carbonate de magnésie.	Eau.	Matières organiques.
A	77,65	2,03	2,55	11,64	0,23	0,19	5,71
B	87,18	7,35	1,54	0,41	0,11	0,15	3,26

Comme il était facile de le prévoir, ces terres végétales du Pays de Caux sont très-siliceuses, car elles se trouvent mélangées à un grand nombre de silex provenant de la craie.

Campine. — M. Wœlcker (3) a fait l'analyse de la terre végétale sableuse de la Campine, près de Hasselt, ainsi que des sables qui constituent le sous-sol de cette région :

(1) *Annales de Chimie et de Physique* [4] XXV, 252.
(2) *Mémoires de la Société centrale d'Agriculture*, année 1866, 2e part., p. 659.
(3) *Royal agricultural Society*. [2] VI, 7.

A. Sable blanc, presque pur, avec quelques débris de racines; épaisseur, 0m,16.
B. Sable analogue à l'*alios* et ayant une couleur brun-noirâtre, due à des matières voisines des acides ulmique et humique; épaisseur, 0m,24.
C. Sable ferrugineux.

	Matière organique.	Sable quartzeux.	SiO^3	PO^5	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
A	1,69	98,01	0,03	0,01	0,16	0,04	0.08	0,11	0,03	traces.	100,16
B	2.89	95,79	0.06	0,06	0,69	0,42	0,06	0,18	0,05	0,02	100,22
C	1,77	95,86	0,09	0,02	1,01	0,73	0,10	0,46	0,09	»	100,13

Ce sol de la Campine, formé presque exclusivement de sable quartzeux, est remarquablement pauvre; en outre, comme il est à peu près dépourvu d'argile, les engrais qu'on y ajoute n'y sont pas retenus et n'y produisent que peu d'effet.

On peut observer, d'ailleurs, que, de ces trois couches, la moyenne, analogue à l'*alios*, a concentré la matière organique ainsi que l'acide phosphorique : l'inférieure contient le plus de chaux, de magnésie et de potasse; par conséquent les éléments fertilisants se trouvent dans le sous-sol, en sorte qu'il est avantageux, dans la Campine, de labourer profondément, de manière à ramener les couches inférieure et moyenne à la surface.

OHIO. — Parmi diverses analyses des terrres végétales de l'Ohio qui ont été faites par M. T. G Wormley (1), nous donnerons les suivantes :

I. Territoire de Perrysburg.
II. Territoire Tuscarawas.
III. Prairie à l'ouest de Tontogany.
IIIa Sous-sol de la même prairie.

	I.	II.	III.	III a.
Soluble dans l'acide chlorhydrique. . .	14,94	5,75	6,31	7,95
Matières organiques et eau. . .	5,37	0,94	9,18	2,17
SiO^2.	0,03	0,02	0,04	0,04
Fe^2O^3.	1,97	2,70	2,03	3,13
Al^2O^3.	1,20	0,65	1,65	1,10
Mn^2O^3.	0,07	0,09		0,04
Cu.	trace	trace		trace
$3CaO, PO^5$.	0,50	0,14	0,30	0,28
CaO, CO^2.	4,72	0,00	1,07	0,33
MgO, CO^2.	1,14	0,51	0,91	0,65
KO, NaO.	0,10	0,05		0,10
SO^3.	0,075	0,02	0,05	0,27
Partie soluble trouvée. . . .	15,175	5,12	6,05	7,867

(1) *Geological Survey of Ohio*, 1870, 456.

Suite du tableau précédent.

Insoluble dans l'acide chlorhydrique. . .	85,06			94,25			84,51			92,05		
Matière organique.		16,36			2,24						1,15	
SiO^2.		54,29			79,81			66,37			72,83	
Al^2O^3 avec traces de fer.		9,69			8,72			14,75			12,98	
Ma^2O^3.		trace			trace						0,55	
Cu.		trace			trace						trace	
CaO.		0,92			0,64			0,98			1,69	
MgO.		0,54			0,69			0,76			0,88	
KO, NaO.		2,28			2,07			1,75			1,70	
PO^5.		0,11			0,11			0,109			0,188	
Partie insoluble trouvée.			84,19			94,28			84,719			91,968
Somme.	100,00	99,365	99,365	100,00	99,40	99,40	100,00		99,949	100,00	99,835	99,835

ILLINOIS. — Le sol de la prairie de l'Illinois a également été analysé par M. Robert Peter, du Geological Survey du Kentucky (1). On peut voir qu'il est plus sableux ou plus siliceux que celui de Tontogany, dont la composition vient d'être donnée, et il contient aussi moins de potasse et d'acide phosphorique :

Matières organiques volatiles.	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Al^2O^3	KO	NaO	SiO^2 et silicates insolubles.	Fe^2O^3	PO^5	Somme.
9,050	0,890	0,526	2,404	0,197	0,100	84,470	2,350	0,175	100,162

Roches diverses.

Gaz.

MM. Fouqué et Gorceix (2) ont fait de nombreuses analyses des gaz qui se dégagent des Lagoni de la Toscane et de divers points des Apennins. Ceux des Lagoni, dont la température est élevée et voisine de 100°, sont caractérisés par la présence de l'hydrogène, et leur composition a été trouvée la même que celle qui a été obtenue en 1856 par MM. Charles Sainte-Claire Deville et Leblanc.

Eaux.

Les limites de cette Revue ne permettant pas de résumer les nombreuses recherches faites sur les eaux, nous mentionnerons seulement celles qui offrent un intérêt spécial, renvoyant pour les autres au *Compte-rendu de chimie* publié par MM. A. Strecker et Al. Naumann (3) et faisant suite à celui de MM. J. de Liebig, H. Kopp et H. Will.

(1) *Geological Survey of Ohio.* 1870, 372.
(2) *Comptes rendus*, *LXIX*.
(3) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie* von A. Laubenheimer, Al. Naumann, F. Nies, F. Rose und Strecker.

CHARENTE. — L'eau de la Charente à Rochefort est un peu saumâtre, et voici les résultats obtenus par M. Roux (1) pour 1 litre, qui a été puisé au mois de juin, à marée basse :

	centim. cubes.
Acide carbonique libre ou provenant des bicarbonates	24,59
Azote	16,38
Oxygène	7,37
	48,34

	grammes.
Chlorure de sodium	0,1080
Chlorure de potassium	0,0005
Carbonate de chaux	0,1097
Carbonate de magnésie	0,0277
Sulfate de chaux	0,0308
Silice	0,0074
Oxyde de fer	0,0033
Alumine	0,0025
Azotate de potasse	0,0010
Matières organiques	0,0170
Ammoniaque	0,0008
Chlorure de calcium, iodure alcalin, manganèse	traces.
Perte	0,0011
	0,3098

Eau des mers.

OLERON.—D'après M. Roux, de l'eau de mer puisée au large de l'île d'Oleron, au mois d'août 1864, avait une densité de 1,0272 et contenait 19gr,255 de chlore par litre, soit 27,178 de chlorure de sodium.

Eaux minérales.

ROCHEFORT. — Le puits artésien de Rochefort fournit une eau minérale et chaude, résultant du mélange de deux nappes, venant l'une de 816 mètres, l'autre de 834 mètres. La densité de cette eau est 1,0053 et sa température atteint 40°,6. On l'emploie à l'hôpital maritime et elle sert aussi à donner des bains à la garnison. Une analyse complète en a été faite par M. B. Roux (2) qui a obtenu pour 1 litre :

	cent. c.
Azote	17,11
Acide carbonique	66,04
	83,15
	gr.
Acide carbonique	0,11911
HS	0,00067
SO^3	2,81207
SiO^2	0,00742
AsO^5	0,00004
PO^5	traces.
Matières organiques	0,00027
Cl	0,51359
I	0,00096
A reporter	3 45413

	gr.
Report	3,45413
Br	0,00305
NaO	1,52761
KO	0,00215
CaO	0,79532
MgO	0,16363
AzH^3	0,00326
Al^2O^3	0,00174
SiO^2	traces.
FeO	0,02295
MnO	0,00007
Cu	traces.
Eau combinée	0,10200
Perte	0,01000
	6gr,08591

(1) *Archives de médecine navale.*
(2) *Archives de médecine navale*, 1871.

Cette eau de Rochefort, qui a été rencontrée dans les terrains secondaires, est, d'après M. Roux, saline et ferrugineuse. Elle contient des sulfates de soude, de chaux, de magnésie, du chlorure de sodium, du bromure ainsi que de l'iodure de sodium ; en outre, on y trouve du bicarbonate de fer accompagné de manganèse, de cuivre et même d'arsenic. Elle se rapproche de l'eau d'Aix en Savoie et aussi de celle de Bagnères-de-Bigorre.

La présence du cuivre qui est fréquente dans les grès du trias, et du permien, semble bien indiquer que ces terrains ont été atteints dans le sondage de Rochefort, conformément à l'opinion de M. Guillebot de Nerville ; et même les caractères minéralogiques du grès grossier et rouge lie de vin, qui est à la base du sondage, porteraient plutôt à le rapporter au permien (1).

MEURCHIN. — La compagnie houillère de Meurchin (Pas-de-Calais), en faisant creuser un puits d'extraction, a rencontré, à 250 mètres de profondeur, une eau, très-abondante, dont la température s'élevait jusqu'à 50 degrés centigrades ; sa densité était de 1,0021 et elle avait une odeur fortement sulfureuse. C'est dans une plaine à peine ondulée, sur un plateau uni, que le puits a été creusé.

M. Gossart (2) a fait l'analyse de cette eau et a trouvé par litre :

	c. c.		gr.
HS	17,48	NaO	1,126
CO^2	6,00	KO	0,014
Az	23,44	AzH^3, Fe^2O^3, Al^2O^3, LiO	traces
	gr.	Cl	0,882
S	0,005	SO^3	1 137
CO^2	0,016	SiO^2	0,019
CaO	0,285	Fl	indéterminé.
MgO	0,117	PO^5	traces

POUZZOLES. — L'eau thermo-minérale de Pouzzoles a été analysée par M. S. de Luca (3), qui a obtenu dans un litre :

	gr.		gr.
SO^3	1,473	AzH^3	0,0135
Cl	0,0085	Al^2O^3	0,335
FeO	0,1105	SiO^2	0,315
CaO	0,101	NaO, Mu, As, matières organiques azotées	traces
MgO	0,0225	HO	997,603
Ko	0,017	Somme	999,9990

Cette eau thermale donne par l'évaporation un alun complexe, mais bien cristallisé.

(1) *Revue de géologie*. VI, 224.
(2) *Bull. de Pharmacie et de chimie*, tome XI, 1870, p. 292.
(3) *Journal de pharmacie et de chimie*, tome XII, 1870, p. 33.

TOSCANE. — La présence du carbonate de magnésie a été reconnue dans diverses sources minérales, particulièrement en Toscane, d'après les analyses de Targioni et de Taddei (1). Ainsi, aux environs de Sienne et de Livourne, la proportion de ce carbonate varie de 0g,15 à 0g,27 par litre; et dans le val d'Elsacelle, le bicarbonate de magnésie s'élève même à 5gr,18 par litre.

Ces résultats sont très-intéressants à constater; car ils nous expliquent comment des dépôts de magnésite ont pu se former à différentes époques géologiques. On sait notamment qu'on en observe dans certains bassins lacustres comme ceux des environs de Paris et surtout dans le voisinage des éruptions serpentineuses comme celles de la Grèce et de l'Italie.

GRAND LAC SALÉ. — Le capitaine Stansbury, auquel on doit les principales explorations faites sur le Grand lac Salé, a fait connaître la composition de ses eaux, d'après un essai du docteur Gale (2). Leur densité est de 1,170 et le résidu de leur évaporation s'élève à 22,422 p, 100 :.

NaCl	NaO,SO³	MgCl	CaCl	Somme.
20,196	1,834	0,252	traces	22,282

Si l'on veut, par comparaison, apprécier combien est forte la salure du Grand lac Salé, il convient d'observer que, pour la Mer Morte, la densité est seulement de 1,028 et le résidu de l'évaporation de 21,077 p. 100.

On conçoit d'ailleurs que le Grand lac Salé, dont la surface atteint 1.900 milles quarrés, pourrait facilement fournir des quantités indéfinies de sel à toute la région qui l'environne.

Sel gemme.

Dans des recherches sur l'origine du sel marin, M. A. Boué (3) s'est attaché à combattre l'opinion suivant laquelle ce minéral proviendrait seulement de l'évaporation d'eaux qui auraient été fournies par la mer. Ce savant observe avec raison que le dépôt du sel peut aussi être attribué à un dégagement local de chaleur au fond de la mer ou bien à une sursaturation produites par des sources salées. Des considérations théoriques analogues ont également été développées par M. Daubrée (4) et par M. Delesse (5).

(1) D'Achiardi : *Mineralogia della Toscana.*

(2) Cyrus Thomas et F. V. Hayden : *Preliminary report of the United States Geological Survey* 1871, 233.

(3) *Berg und Huttenmannishe Zeitung*, 1872. — Académie des sciences de Vienne, 11 mars 1869.

(4) *Bull. Soc. géol.*, 1872.

(5) *Lithologie du fond des mers*, tome I, p. 406.

SAINT-NICOLAS. — La onzième couche de sel, rencontrée dans les marnes irisées de Saint-Nicolas (Meurthe) se trouve à 160 mètres de profondeur et n'a pas moins de 20 mètres d'épaisseur. On en exploite seulement le quart inférieur sur 5 mètres de hauteur et, d'après une analyse faite dans le laboratoire de Pelouze, voici quelle est sa composition :

NaCl	MgCl	CaCl	NaO,SO³	HO	Résidu insoluble.	Somme.
91	0,60	0,50	3,30	0,95	3,65	100

VÉSUVE. — Dans l'éruption d'avril 1871, au Vésuve, un dépôt salin s'est formé par sublimation au-dessus de la lave ; son analyse, faite à l'Institut géologique de Vienne, a donné la composition suivante (1) :

NaCl	NaO, SO³	MgO, SO³	PO⁵	HO	Somme.
89,24	9,80	0,42	traces	0,39	99,85

Gypse.

HANTS. — On sait que des minéraux contenant de l'acide borique sont quelquefois associés au gypse ; à ce titre, il est intéressant de signaler des nodules qui ont été étudiés par M. le professeur How (2), et qui se trouvent dans le gypse de Winkworth, comté Hants, Nouvelle-Écosse. La composition de l'un de ces nodules était :

SO³	SiO²	BoO³	CaO	HO	Somme.
36,10	3,31	10,13	31,66	18,80	100,00

Bien que leur composition ne paraisse pas constante, M. How les considère comme une espèce minérale nouvelle à laquelle il donne le nom de *Winkworthite*.

Comme l'observe M. How, on connaît maintenant dans le gypse du comté Hants :

1° La Natroborocalcite (Ulexite de M. J. D. Dana) :

$$NaO, 2CaO, 5BO^3, 15HO.$$

2° La Cryptomorphite $NaO, 3CaO, 9BO^3, 12HO$.

3° La Silicoborocalcite (Howlite) $4CaO, 2SiO^2, 5BO^3, 5HO$.

4° La Winkworthite $11CaO, SiO^2, 4BO^3, 8SO^3, 20HO$.

Cette dernière espèce offrirait une composition assez variable

(1) *K. K. Geolog. Reichsanstalt*, 1872. — Voir aussi *Revue de géologie*, VIII, 31.
(2) *American Journal* [3], II, 150.

qui resterait comprise entre celle du gypse et celle de la Silicoborocalcite.

Le gypse de Hants (1) est remarquable par la variété de ses minéraux contenant du bore.

— Nous observerons à ce sujet que, depuis longtemps, le docteur Gaillardot avait reconnu, dans le gypse du Keuper, aux environs de Lunéville (Meurthe), l'existence de petites lentilles composées de fibres soyeuses d'une grande blancheur. M. Adam en possède un échantillon dans sa belle collection de minéralogie, et, d'après son examen, la Cryptomorphite paraît exister aussi dans le gypse triasique de la Lorraine.

LUNEBURG. — M. C. Nöllner (2), a trouvé, dans le gypse de Luneburg, un minéral ayant pour composition :

MgO	PO^5	BoO^3	HO	Somme.
25,3	29,8	12,7	32,2	100,0

C'est un phospho-borate de magnésie, comme la Stassfurtite; mais il constitue une espèce minérale nouvelle, la *Luneburgite* qui aurait pour formule

$$(2MgO, HO)\,PO^5 + MgO, BoO^3 + 7HO.$$

Guano.

VICTORIA. — Dans les cavernes de Skipton (Etat de Victoria), le guano de chauve-souris recouvre le sol sur plus de 6 mètres d'épaisseur. Il est brun, avec des parties cristallines, de couleur jaune pâle, qui, d'après une analyse de M. Cosmo Newbery (3), sont de la struvite (phosphate ammoniaco-magnésien).

GUANAPE. — Le guano que l'agriculture utilise maintenant en Europe, s'exploite surtout aux îles Guanape et, d'après deux essais faits par M. Wœlcker (4), voici quelle serait sa composition :

---

(1) *Philosophical Magazine*, nº 273.
(2) *Neues Jahrbuch*, 1871, p. 175.
(3) Urich : *Contributions to the Mineralogy of Victoria.*
(4) *Royal Agricultural Society* [2], VI, 142.

EAU.	MATIÈRES organiques et sels ammoniacaux.	3CaO, PO⁵	SELS alcalins (*).	SABLE.	SOMME.	AZOTE.
17,79	42,62	25,45	11,92	2,22	100	10,04
20,10	38,67	32,53	5,97	2,73	100	7,87

(*) Avec acide phosphorique soluble, 4,75 dans I et 3,19 dans II.

Ce guano paraît d'une composition assez inégale ; il est moins riche que celui des îles Chincha et retient plus d'eau. Il a été lavé par les pluies qui lui ont fait perdre une grande partie de ses matières fertilisantes.

MEJILLONES. — Au nord de la presqu'île de Mejillones, située dans l'Amérique du Sud, sur la côte du Pacifique, entre le 23ᵉ et le 24ᵉ degré de latitude sud, on trouve d'importants dépôts de guano que M. Larroque (1) a explorés au moyen d'un grand nombre de puits.

Le guano se rencontre en couches, tantôt pur, tantôt mélangé à des débris de granite. Sa couleur est d'un brun rouge ou couleur terre de Sienne ; mais il devient rose lorsqu'il est exposé à l'air et, sous l'action du soleil, sa couleur passe même au blanc.

Suivant M. Dion, ingénieur civil, il contient :

70 à 80 p. 100 de phosphate de chaux.
14 à 18 p. 100 d'eau et de matieres organiques.
1/2 à 2/3 p. 100 d'ammoniaque.

Il renferme en outre du sable, de l'argile et du sulfate de chaux.

Phosphorite.

M. Alphonse Favre (2) a publié récemment une notice dans laquelle il résume les données les plus importantes relatives au gisement de la phosphorite, d'après les recherches faites pendant ces dernières années. S'occupant surtout du mode de formation de la phosphorite, M. A. Favre observe qu'elle a pu se déposer : 1° dans la mer ; 2° dans les bassins d'eau douce ; 3° dans des fentes et des cavernes remplies à la manière des filons ; 4° enfin, certains gîtes de phosphorite ont aussi pour origine des ossements, ou bien même des déjections, qui ont été accumulés par des animaux vertébrés.

— Lorsque la phosphorite se rencontre en nodules dans un gise-

(1) *Société des ingénieurs civils*, 19 janvier 1872.
(2) *Archives des Sociétés physiques et naturelles*, XLV, 233.

ment, il suffit d'un simple débourbage pour la débarrasser d'une grande partie des matières étrangères qui l'accompagnent : lorsqu'au contraire elle est pulvérulente ou à l'état sableux, il est encore possible de l'enrichir d'une manière très-notable, mais il faut alors la soumettre d'abord à une lévigation; c'est en particulier ce que l'on fait dans l'Amérique du Nord.

A Stone River (Caroline), au-dessus des lits de nodules que l'on exploite, il existe, en effet, une couche de sable qui atteint 2 mètres d'épaisseur et qui paraît provenir de la destruction du phosphate de chaux qu'elle recouvre. Suivant M. C. M. Shepard (1), ce sable contient 27 p. 100 de phosphate de chaux, 63 p. 100 de sable fin ou grossier, 3 p. 100 de carbonate et de sulfate de chaux, 7 p. 100 d'eau et de matières organiques. Or, lorsqu'on a soin de le soumettre à la navigation, M. Shepard a constaté, par l'analyse, que sa teneur en phosphate de chaux s'élève à 37 p. 100, ce qui permet alors de l'utiliser comme engrais.

— L'importance que la phosphorite acquiert de plus en plus, par suite de ses applications à l'agriculture, a provoqué, dans ces derniers temps, des recherches sur divers gisements déjà connus et a amené la découverte de quelques gisements nouveaux.

Sarthe. — Des nodules de phosphorite ont été observés par M. Guillier à quatre niveaux, dans le terrain crétacé supérieur du département de la Sarthe.

Le dépôt le plus important est à la base même du crétacé, presqu'à son contact avec le jurassique, dans la glauconie à ostrea vesiculosa. On le voit bien près de La Ferté-Bernard et de Saint-Cosme; il se retrouve du reste sur plusieurs points de la Normandie et du Bas Boulonnais.

Le deuxième dépôt, composé de nodules disséminés en faible quantité, se montre au Mans, dans les sables cénomaniens supérieurs, à Rhynconella compressa, presque au-dessus du banc que les ouvriers nomment le *Jalais*. Il se montre aussi à Yvré-l'Évêque, à Ballon, à Saint-Mars.

Le troisième dépôt est à la partie supérieure de la craie à Terebratulla Bourgeoisii et à Ostrea columba, près de Connerré. Ses nodules atteignent 0m,45 et sont mouchetés de glauconie.

Le quatrième dépôt, qui est le plus élevé, se trouve, d'après M. Guillier, dans la craie blanche à Ostrea auricularis, entre la

(1) *American Journal* [3], II, 58.
(2) *Bulletin de la Société d'agriculture de la Sarthe*, octobre 1871.

couche à Rhynconella verspertilio, et celle à Spondylus truncatus. Il peut former un banc presque régulier, atteignant $0^m,30$ d'épaisseur; on l'observe à Saint-Paterne et à Château-du-Loir. Les nodules des environs de Périgueux et le *tun* de la Flandre se rapportent vraisemblablement à ce niveau.

Aucun de ces dépôts de phosphorite de la Sarthe n'a été exploité jusqu'à présent, et le premier, qui est le plus riche, paraît seul susceptible de l'être.

Remarquons du reste que leur existence est toujours utile à signaler; car lors même qu'ils ne sont pas exploitables, ils introduisent, soit directement, soit par les eaux qui les humectent, de l'acide phosphorique dans la terre végétale voisine et, par suite, ils contribuent à la rendre plus fertile.

Saint-Maur. — Une veine de phosphorite ayant environ $0^m,15$, a été observée par M. Dufet, à Saint-Maur, sur la rive gauche de la Loire, près d'Angers. Elle est verticale, mais paraît se terminer dans la profondeur; elle est d'ailleurs encaissée dans l'étage Bajocien de l'oolite inférieure, qui est relevé dans cet endroit; d'un autre côté, vers le haut, elle se relie à des conglomérats qui séparent cette oolite des sables cénomaniens. Il est possible que cette veine de phosphorite résulte d'une infiltration du phosphate de chaux des sables cénomaniens qui aurait rempli une fente de l'oolithe inférieure sous-jacente.

Lot, Tarn-et-Garonne, Aveyron. — Dans le Quercy et sur le flanc sud-ouest du Plateau central, des gîtes de phosphorite assez nombreux, mais irréguliers et malheureusement peu étendus, ont été découverts par M. Poumarède et par les habitants du pays, dans une partie de la région occupée par les calcaires jurassiques.

Résumons brièvement les principaux faits observés, d'après MM. Daubrée (1), L. Combes (2), Leymerie (3), Trutat, Guillier, Filhol, Delfortrie, Malinowski.

La phosphorite rencontrée sur les plateaux jurassiques du sud-ouest de la France, se trouve habituellement vers l'altitude de 350 mètres. Elle n'est pas cristallisée, mais présente des masses compactes. Tantôt elle est concrétionnée, comme certains calcaires et comme la calamine à laquelle elle ressemble beaucoup;

(1) *Comptes rendus*, LXXIII, 1028.
(2) Lettre à M. Delesse du 24 avril 1872.
(3) *Note sur la phosphorite du Quercy*; Toulouse, 1872.

tantôt elle rappelle par sa structure l'agate et surtout certains quartz résinite dont elle prend même l'éclat semi-vitreux et la couleur brunâtre. Quelquefois elle a des couleurs vives, notamment une couleur bleuâtre, due probablement à ce qu'elle contient du phosphate de fer. On y observe aussi des septaria et des œtites qui se sont formés par retrait dans la phosphorite, de même que dans les calcaires argileux et dans certains minerais de fer.

Déjà l'année dernière, nous avons fait connaître la phosphorite exploitée à Limogne(1); voici, d'après de nouveaux essais de M. Léon Durand-Claye, quelle est la composition moyenne d'une trentaine d'échantillons du Lot qui ont été envoyés au laboratoire de l'École des ponts et chaussées par M. Thuninger, ingénieur à Cahors. Leur richesse en phosphate de chaux a varié de 68 à 89 p. 100, et, en moyenne, elle était environ de 78 p. 100. M. Bobierre, de son côté, est arrivé à peu près au même résultat. Des essais faits au Laboratoire de l'École des mines ont d'ailleurs permis de reconnaître dans la phosphorite du Quercy, la présence du fluor, du chlore et même d'un peu d'iode.

Parmi les matières minérales qui sont associées à cette phosphorite, il faut citer surtout la chaux carbonatée; il y a également un peu d'hématite brune et rouge ainsi que de la pyrolusite. Certains échantillons présentent même des grains de minerai de fer oolitique qui y sont disséminés. D'un autre côté, la phosphorite est souvent pénétrée ou intimement mélangée d'argiles rouges ossifères que les exploitants désignent sous le nom de terres phosphatées.

Le résidu de la phosphorite, qui est insoluble dans l'acide, consiste en argile et aussi en sable quartzeux; généralement faible, il varie de 0 à 13 p. 100 et, en moyenne, il est environ de 3,5 p. 100. Dans quelques échantillons, qui sont plus ou moins mélangés de grains roulés de quartz et qui paraissent s'être déposés dans une eau agitée, la richesse en phosphate de chaux se réduit d'ailleurs à 60 et même à 30 p. 100.

Le gisement de la phosphorite du Quercy et du sud-ouest de la France est analogue à celui de la calamine, notamment dans la Haute-Silésie, et il indique visiblement un dépôt formé par des eaux minérales. Tantôt la phosphorite s'est déposée dans des poches et des cavités irrégulières ou bien dans de petits bassins qui semblent avoir été corrodés par l'acide carbonique d'eaux minérales se répandant dans le calcaire jurassique. Tantôt elle a rempli des crevasses et elle présente, parallèlement à leurs parois,

(1) *Revue de géologie*, IX, 28.

la structure rubanée qui est habituelle aux filons métallifères; mais, contrairement à ce qui a lieu dans ces filons, la phosphorite diminue rapidement dans la profondeur du gîte, comme si son dépôt avait été déterminé près de la surface par le dégagement plus facile de l'acide carbonique qui la maintenait en dissolution dans les eaux minérales.

La phosphorite du sud-ouest paraît d'ailleurs alignée suivant deux directions, l'une E., l'autre N. 25° E.; et ces directions sont parallèles à des failles observées par Magnan dans cette partie du Plateau central.

Les gisements reconnus jusqu'à présent sont :

Dans le Tarn-et-Garonne; Caylux, Mouilhac, Bach, Vaylac, Montriceux, Servanac, Saint-Projet, Cantayrac;

Dans le Lot; Larnagol, Grealou, Saint-Jean-de-Laur; Concots, Escamps, Puyjourde, Saillac;

Dans l'Aveyron; Villeneuve, Clognac, Naussac.

Des ossements se rencontrent assez souvent dans la phosphorite du sud-ouest de la France; toutefois, suivant M. Trutat, il n'y en aurait pas dans les gîtes orientés N. 25° E. L'examen de ces ossements fait par MM. P. Gervais, E. Milne Edwards et par divers paléontologistes, a montré des paléothériums, des anoplothériums, des dichobunes et la faune éocène du gypse parisien. D'un autre côté, on y trouve aussi des rhinocéros, de grands pachydermes, des carnassiers (amphicyon, hyenodon, martre, viverra), des ruminants, des rongeurs qui accusent des dépôts tertiaires postérieurs à l'éocène. De plus on y a trouvé la hyène des cavernes et des animaux quaternaires qui étaient recouverts par des stalagmites et empâtés dans de l'argile rouge. Dans certains gisements, notamment à Beduer, on a observé une multitude de squelettes de chauves-souris montrant, qu'à leur mort, ces animaux accumulaient leurs débris sur le sol même des cavernes au toit desquelles ils se suspendaient.

Il nous paraît donc que les sources minérales auxquelles le dépôt de la phosphorite est généralement attribué, ont conservé leur activité pendant la période tertiaire. Peut-être même datent-elles de la période antérieure? Quand ces sources furent taries, des cavernes creusées accidentellement dans la phosphorite, comme celles qui sont si fréquentes dans les calcaires, purent ensuite être habitées par des animaux et recevoir des débris de la faune quaternaire.

Wissant. — Les nodules du gault qui se trouvent sur la plage

de Wissant, dans le Pas-de-Calais, et dont la composition a d'abord été déterminée par Berthier, sont exploités actuellement pour les besoins de l'agriculture. M. L. Durand-Claye (1) a fait l'essai d'une série d'échantillons dans lesquels il a trouvé 20 à 25 p. 100 d'acide phosphorique correspondant soit à 44, soit à 55 p. 100 de phosphate bibasique de chaux.

FLANDRE. — Plusieurs niveaux de phosphorite ont été observés dans le terrain crétacé supérieur de la Flandre, notamment par MM. de Molon, Meugy, Gosselet, Delanoue. Récemment M. Savoye (2) a analysé des nodules de phosphorite provenant de chacun de ces niveaux ; le tableau suivant donne leur richesse en acide phosphorique, avec l'indication précise des étages ainsi que des localités dans lesquelles ils se rencontrent :

ÉTAGES GÉOLOGIQUES.			LOCALITÉS.	ACIDE phosphorique.
Craie blanche.	Zone à micraster cor testudinarium.	Partie supérieure.	Lezennes.	24,17
		Partie inférieure.	Carvin.	37,87
			Gonnelieu.	10,17
		Premier tun.	Lezennes.	15,87
		Deuxième tun ou tun blanc.	Lezennes.	10,39
Craie glauconieuse.	Zone à pecten asper.	Marnes glauconieuses.	Noyelles	29,02
		Tourtia.	Sassegnies.	27,41
		Tourtia.	Anzin.	17,75

Remarquons que la craie du Nord de la France est riche en acide phosphorique, relativement à la plupart des terrains ; comme elle forme le sous-sol de la région, il est permis de croire qu'elle contribue à sa grande fertilité.

PERTE DU RHÔNE. — Le gault de Bellegarde, à la Perte du Rhône, présente, comme l'a indiqué M. Renevier, une épaisseur de 6 à 7 mètres. D'après MM. Grüner frères (3) il renferme trois bancs qui sont remplis de fossiles et riches en phosphorite : le banc inférieur mesure $0^m,40$, le moyen $0^m,60$, et le supérieur, qui est contigu au précédent, offre une épaisseur de $0^m,80$; en sorte que l'épaisseur totale de ces bancs atteint $1^m,80$.

(1) Lettre à M. Delesse.
(2) *Mémoires de la Société des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, année 1870, 3e série, 8e volume, p. 468.
(3) *Bulletin géologique*, XXXVIII, 62.

Lorsqu'on soumet les 3 bancs à un lavage, on en retire des moules de fossiles qui sont partiellement formés de phosphorite; la partie entraînée dans le lavage se compose d'ailleurs de sable quartzeux, de glauconie et d'argile.

MM. Grüner ont fait diverses analyses des moules de fossiles contenus dans le banc supérieur ainsi que des sables qui leur sont associés et du banc lui-même :

I. Oursin offrant une masse homogène, dense et compacte, à cassure esquilleuse; de Lancrans.
II. Nautile de Mussel.
III. Fragment d'une ammonite; de Lancrans.
IV. Inocérame de Lancrans.
V. Sable vert du banc supérieur à fossiles phosphatés.
VI. Sable rouge du toit du gîte; à la Perte du Rhône.
VII. Composition moyenne du banc supérieur, telle qu'elle est fournie par une tranche prise sur toute la hauteur et formée du mélange du sable avec les fossiles.

	$3CaO,PO^5$	CaO,CO^2	SABLE glauconieux.	SABLE argileux vert.	Fe^2O^3	HO	Somme.
I	70,6	17,4	12,0				100
II	65,3	29,6	5,1				100
III	46,2	22,8	31,0				100
IV	38,3	33,5	28,2				100
V	5,8	16,1		74,1	0,4	4,1	100
VI	3,9	16,9		77,7	traces	1,5	100
VII	11,9	25,4		57,6	4,3 (*)	0,8 **	100

* Avec alumine. | ** Avec bitume.

Les moules de fossiles sont particulièrement riches en phosphate de chaux, lorsque le vide intérieur a été rempli par infiltration et par un petit orifice; la proportion du phosphate diminue au contraire lorsqu'il a pu s'y introduire beaucoup de sable.

Il serait intéressant de rechercher si la phosphorite de la Perte du Rhône ne contient pas du fluor; car son gisement a de l'analogie avec celui du *Ssamorod* de la Russie, qui se trouve seulement à un niveau supérieur dans le terrain crétacé (1).

Si l'on remonte à l'origine première du phosphore accumulé dans ces couches du terrain crétacé, on est naturellement conduit à admettre qu'il vient de l'intérieur du globe. Mais il a pu aussi être dissous, à différentes reprises, par des eaux contenant

(1) *Revue de géologie*, VII, 320.

de l'acide carbonique, après avoir été accumulé dans les couches sous forme d'ossements et de coprolites. Le remplissage par la phosphorite des cavités laissées libres dans le têt des mollusques et surtout le pseudomorphisme des bois fossiles par ce minéral, paraissent bien indiquer qu'il s'est produit souvent une dissolution postérieure de la chaux phosphatée. Il est d'autant plus légitime de l'admettre que de nombreux ossements se rencontrent dans ces mêmes couches.

Du reste, le phosphore étant absolument indispensable à tous les êtres, animaux et végétaux, les lois de la Providence exigent qu'il subisse sans cesse de nouvelles migrations et s'opposent à ce qu'il reste complétement fixé dans la croûte du globe.

Suisse. — Dans les Alpes suisses, le docteur Picard a trouvé 36 à 43 p. 100 de phosphate de chaux dans les nodules du gault à Yberg (Schwyz), à Sentis (Appenzell), à Glarnisch (Glaris), au lac de Lungeren (Unterwalden).

Galicie. — Des nodules de chaux phosphatée ont été trouvés par M. Stur (1) à Chudikovce, sur le Dniester, dans un étage du terrain crétacé qui parait être le cénomanien inférieur.

Podolie. — Les nodules de chaux phosphatée provenant de la craie de la Podolie russe ont été analysés par M. Alth (2). Leur structure est radiée du centre à la circonférence, et dans leurs interstices, on observe de la chaux carbonatée spathique. Ils ont d'ailleurs une couleur brun rouge au centre et leur densité s'élève à 2,984 :

PO^5	Cl,Fl	CO^2	Al^2O^3	FeO	CaO
34,37	traces	2,81	2,12	4,84	46,00
MgO	KO	NaO	HO	Argile insoluble.	Somme.
1,94	1,50	0,45	2,33	3,73	100,09

Cette composition est à très-peu près celle de la substance minérale que M. Stein a nommée *Staffellite* (3).

Grodno. — Sur la rive droite du Niemen, à Mela, près de

(1) *Verhandlungen der K. K. g. Reichsanstalt*, 1869, 67.
(2) *Verhandlungen der K. K. g. Reichsanstalt*, 1869, 53.
(3) *Revue de géologie*, VII, 62.

Grodno, M. Grewingk (1) a observé une couche de phosphorite de $0^m,25$, ayant pour composition :

$3CaO,PO^5$	$CaFl$	Al^2O^3,PO^5	MgO,CO^2	FeO,CO^2	NaO	KO	Fe^2O^3	Al^2O^3	SO^3	SiO^2	Eau et matières organiques.	Humidité.	Somme.
32,95	3,53	1,87	1,60	3,85	0,59	0,75	0,92	5,03	0,08	42,97	4,70	0,91	99,75
38,35			5,45		55,95								
Phosphorite.			Dolomie et sidérite.		Glauconie, alunite et quartz.								

M. Grewingk fait remarquer que cette phosphorite est recouverte par une marne crayeuse jaune ; tandis qu'au-dessous d'elle, on voit, sur plus de 9 mètres d'épaisseur, la craie avec silex et bélemnitelles ; par conséquent elle appartient, non pas à la craie inférieure, mais bien à la craie supérieure.

Caroline du Sud. — On observe dans la Caroline du Sud un gisement de phosphorite en nodules contenant jusqu'à 60 p. 100 de phosphate de chaux : ces nodules sont formés de débris de fossiles marins, associés à des ossements d'animaux terrestres, tels que mammouth, mastodonte, rhinocéros, megatherium et le gigantesque reptile Hadrosaurus.

Suivant M. Holmes (2). les nodules dérivent tous d'un lit de marne éocène ; mais leur formation daterait de l'époque post-pliocène.

— Une phosphorite provenant de la Caroline du Sud a été essayée par M. Léon Durand-Claye au laboratoire de l'École des ponts et chaussées :

PO^5	CaO	Fe^2O^3	CO^2,Al^2O^3 et perte.	Quartz.	Somme.
24,40	37,50	3,10	14,50	20,40	100,00

La proportion du phosphate de chaux tribasique est de 53,30. Le quartz s'y trouve en petits grains, arrondis et transparents, qui sont cimentés par ce phosphate.

Saint-Domingue. — On exploite, depuis quelques années, dans un îlot nommé Alta-Vela, qui dépend de la grande île de Saint-

(1) Dorpat, 1871. — *Neues Jahrbuch*, 758.
(2) *Geol. Mag.*, VIII, 373.

Domingue, un gisement de phosphates. M. Léon Durand-Claye a analysé, au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, trois échantillons de ces phosphates qui lui étaient parvenus par des voies différentes. Il y a obtenu des doses d'acide phosphorique s'élevant à 22,05, à 23,20 et à 24 p. 100. Les bases combinées à cet acide paraissent variables; ainsi, tandis que les deux premiers échantillons renfermaient 15 et 16 p. 100 de chaux, le dernier n'en a donné que 3,90 p. 100. Les autres bases sont essentiellement l'alumine et un peu d'oxyde de fer.

On a trouvé, dans ces 3 échantillons, 0,15, 0,16 et 0,19 p. 100 d'azote.

Roches carbonatées.

Magnésie carbonatée.

NÉGREPONT. — Dans l'île de Négrepont, la magnésie carbonatée se trouve associée à la serpentine, comme l'ont observé MM. de Boblaye et Virlet, et son exploitation, qui tend à se développer, donne lieu à un commerce assez important.

Voici d'ailleurs quelle est la composition de cette substance d'après une analyse faite sous la direction de M. Moissenet, au laboratoire de l'École des Mines.

MgO	CaO	MnO	Fe^2O^3	Perte au feu.	ClH	Argile.	Somme.
46,33	traces	traces	0,66	52,33	0,20	0,33	99,85

On voit que la magnésie carbonatée de Négrepont est remarquablement pure, si l'on observe qu'il s'agit d'une substance compacte et non cristallisée.

Calcaire strontianien.

ISSY. — Sous l'argile plastique du parc d'Issy, près Paris, M. Jannettaz (1) a constaté l'existence d'un dépôt blanc, friable, tachant les doigts, ayant une densité de 2,8 et présentant la composition suivante :

CaO,CO^2	SrO,CO^2	BaO,CO^2	Argile.	Al^2O^3	RO	Somme.
75,0	20,0	0,5	4,0	0,6	0,4	100,5

C'est donc un calcaire strontianien.

Ce calcaire nous paraît appartenir aux marnes dites crayeuses

(1) *Bulletin géologique* [2]. XXIX, 41.

qui se sont déposées dans des bassins assez irréguliers et qui se trouvent au-dessus de la craie ou bien du calcaire pisolithique.

Quant à l'origine de la strontiane, elle est essentiellement geysérienne, selon l'expression employée par Dumont et d'Omalius d'Halloy ; elle doit être attribuée, comme celle de la baryte, à des sources minérales qui se déversaient dans des bassins lacustres. Ces sources étaient sans doute le prélude de celles qui ont ensuite donné naissance aux glaises vertes, étage si remarquable par l'abondance du sulfate de strontiane. On sait du reste que les sulfates de strontiane et de baryte se rencontrent aussi dans l'argile plastique des environs de Paris et dès la base du terrain éocène (1).

Calcaire.

M. Kosmann (2) a fait des analyses complètes de calcaires appartenant à divers étages géologiques : il s'est particulièrement attaché à y doser les substances qui, bien qu'étant en petite quantité, sont cependant très-importantes pour l'agriculture ; telles sont notamment l'acide phosphorique et les alcalis :

A. Muschelkalk, gris, conchoïde, renfermant l'avicula socialis, des environs de Landau (Palatinat).
B. Muschelkalk, gris jaune, conchoïde, de la colline Letzenberg, derrière Colmar.
C. Muschelkalk, gris jaunâtre, avec veines brunâtres, sans coquilles, du massif sous-vosgien de Westhalten.
D. Calcaire jurassique, jaunâtre, oolithique, appartenant à l'étage bathonien de Baden.
E. Calcaire jurassique, oolithique, du massif de Mertzingen, près de la forêt Noire, dans le pays de Bade.
F. Calcaire jurassique, oolithique, de la colline sous-vosgienne du Blumenberg, derrière Colmar.
G. Calcaire jurassique, blanc, à grain très-fin, sans oolithes, du mont Salève, près Genève.

	CaO,CO^2	MgO,CO^2	KO,CO^2	NaO,CO^2	FeO,CO^2	Fe^2O^3	Argile.	NaCl	$3CaO,PO^5$	Somme.
A	89,13	1,85	0,40	2,34	»	traces	6,00	»	0,28	100,00
B	91,05	1,24	0,39	0,45	»	0,78	5,47*	»	0,63	100,01
C	79,71	8,71	0,52	2,40	»	1,69	5,87*	traces	1,11	98,90
D	92,46	traces	0,73	3,00	»	traces	»	»	3,81	100,00
E	78,75	1,29	0,56	5,44	»	0,25	12.66**	»	1,05	98,95
F	96,97	0,50	0,45	0,18	»	0,11	0,86	»	0,94	100,01
G	91,52	1,71	0,63	3,14	1,58	»	»	»	1,41	99,99

* Avec sable. | ** Avec matières organiques.

(1) Delesse, *Lithologie du fond des mers*, I, pages 423, 424.
(2) *Bibliothèque universelle* et *Revue suisse*, Genève, 1871, 153.

Les proportions de phosphate de chaux trouvées dans ces calcaires s'accordent assez avec celles qui ont été obtenues dans des analyses antérieures; mais on voit aussi que les carbonates alcalins et surtout le carbonate de soude, peuvent se rencontrer accidentellement en proportion très-notable dans les calcaires; car, suivant M. Kosmann, le calcaire jurassique du Salève n'en contiendrait pas moins de 3 p. 100 et celui de Mertzingen en renfermerait jusqu'à 5 p. 100!

Travertin.

OHIO. — Un travertin de Margaretta, déposé par la source Castalia, offre une épaisseur supérieure à 2 mètres et devient quelquefois assez friable et granuleux pour qu'on l'utilise comme sable. Son analyse a été faite à l'École des Mines de Columbia College (1) :

CaO,CO^2	MgO,CO^2	BaO,SO^3	SiO^2	Fe^2O^3 et Al^2O^3	Eau et perte.	Somme.
87,77	2,21	0,91	0,18	0,86	8,07	100,00

La présence de la baryte sulfatée mérite d'être notée. D'autres échantillons de ce travertin étaient du reste formés simplement de carbonate de chaux.

Vase calcaire lacustre.

M. Kaufmann (2) a remarqué que le fond d'un grand nombre des lacs de la Suisse est couvert d'une boue blanchâtre, calcaire, qui se rencontre aussi sous la tourbe des tourbières. Cette boue est composée de parcelles microscopiques de carbonate de chaux dont l'origine est due à une action chimique.

Le calcaire d'eau douce de la mollasse suisse, examiné au microscope, présente la même structure, qu'on retrouve aussi dans la craie et dans diverses roches des terrains tertiaires ou secondaires. Ajoutons que cette structure est également celle de l'*Alm*, boue calcaire qui se dépose dans les terrains marécageux du sud de la Bavière (3).

Vase calcaire marine.

GULF STREAM. — Une vase calcaire de l'Atlantique, puisée au fond du lit du Gulf Stream et vers les côtes d'Amérique, a présenté la composition suivante :

(1) *Geological Survey of Ohio*, 1872, 379.
(2) *Verhandlungen d. K. K. g. R.*, 1871, 205.—Notice empruntée au rapport de M. Ernest Favre.
(3) *Revue de géologie*, II, 34.

CaO,CO^2	MgO,CO^2	$3CaO,PO^5$	SiO^2	Fe^2O^3	Eau et matières organiques.	Somme.
85,62	4,26	0,18	1,52	0,31	8,15	100,04

Cette vase est aussi riche en carbonate de chaux que la craie proprement dite, mais elle contient plusieurs centièmes de carbonate de magnésie; on voit d'ailleurs qu'il s'y trouve très-peu d'oxyde de fer et de silice (1).

D'autres vases calcaires recueillies sur le fond de l'Atlantique européen, dans l'expédition anglaise dirigée par M. Carpenter, renfermaient au plus 60 p. 100 de carbonate de chaux; comme l'a fait observer M. J. Prestwich (2), leur composition n'était donc pas celle de la craie, qui est entièrement formée de carbonate de chaux pulvérulent, mais bien celle de la marne ou du calcaire marneux.

Craie.

Angleterre. — Deux craies d'Angleterre ont été analysées par M. J. Prestwich (2):

I. Base de la craie grise de Folkestone.
II. Craie blanche de Shoreham (Sussex).

	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Résidu insoluble.	NaCl	HO	PO^5,Al^2O^3 et perte.	Somme.
I	94,09	0,31	3,61	1,29	0,70	traces	100,00
II	98,40	0,08	1,10	»		0,42	100,00

Conformément à ce qui a été constaté précédemment pour la France, ces craies d'Angleterre ne contiennent qu'un résidu insoluble très-faible (3).

Flandre. — M. E. Savoye (4) a déterminé la composition des principaux étages du terrain crétacé supérieur de la Flandre, et il s'est attaché notamment à y doser l'acide phosphorique.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus, et les calcaires crétacés s'y succèdent, de haut en bas, dans l'ordre naturel; le niveau géologique de chacun de ces calcaires y est, d'ailleurs, bien précisé par les fossiles caractéristiques :

(1) *Comitato geologico d'Italia*, 1872.
(2) *Quarterly Journal Geol. Society*, 1871.
(3) *Revue de géologie*, VIII, 36, IX, 31.
(4) *Mémoires de la Société des sciences de Lille*. 1871 [3], VIII.

A. Craie supérieure, grise, poreuse, friable et en petits grains; de Ciply (Belgique).

B. Craie dure et compacte, avec trous de pholades; elle appartient à la craie blanche à bélemnitelles; de Ciply.

C. Craie de la zone à micraster cor anguinum; elle est blanche, assez dure, homogéne, tachant les doigts, et elle se fendille à l'air; de Saint-Martin-au-Laert (Pas-de-Calais).

D. Craie blanche de la zone à micraster cor anguinum, servant comme la précédente au marnage des terres; de Séclin, arrondissement de Lille.

E. Craie blanche, sans glauconie, de la partie supérieure de la zone à micraster cor testudinarium ; de Crève-Cœur.

F. Craie contenant 0,90 p. 100 de glauconie; de la partie inférieure de la zone à micraster cor testudinarium de Carvin.

G. Craie grisâtre, avec 2,73 p. 100 de glauconie; prise vers la base de la zone à micraster cor anguinum de Cagnoncles (arrondissement de Cambrai).

H. Craie blanche, légèrement grise, friable et gélive, de la zone à micraster Leskeï; de Setques (Pas-de-Calais).

I. Craie grise, en bancs alternants avec silex, d'une épaisseur de 18 mètres; appartenant à la zone à micraster Leskeï, de Guesnain (arrondissement de Douai).

J. Marnes de la craie marneuse à inoceramus Brongniarti; de Gruson.

K. Dièves ou marnes bleues de la craie marneuse à inoceramus labiatus; de Sainghin.

L. Craie grise et bleue, de l'étage des dièves à inoceramus labiatus; de Guesnain.

M. Dièves argileuses, compactes, bleues, se délitant à la pluie; de la zone à inoceramus labiatus de Guesnain.

N. Marne verdâtre, devenant gris-jaune par dessication; elle contient 13,15 p. 100 de glauconie; elle appartient à la zone à belemnites plenus, de la craie glauconieuse de Boussières.

O. Marne glauconieuse et sableuse avec pyrite et renfermant 55,56 p. 100 de glauconie; elle dépend de la zone à pecten asper de la craie glauconieuse de Noyelles.

P. Tourtia ou poudingue à éléments calcaires et siliceux, contenant 48,02 p. 100 de glauconie; de la base de la craie glauconieuse avec pecten asper, de Sassegnies (arrondissement d'Avesnes).

<table>
<tr><th></th><th>DENSITÉ.</th><th>RÉSIDU insoluble.</th><th>CaO,CO^2</th><th>MgO,CO^2</th><th>SiO^2 soluble.</th><th>Al^2O^3</th><th>Fe^2O^3</th><th>PO^5</th></tr>
<tr><td>A</td><td>2,386</td><td>0,52</td><td>96,36</td><td>0,51</td><td>»</td><td>0,85</td><td>0,07</td><td>0,08</td></tr>
<tr><td>B</td><td>2,636</td><td>0,84</td><td>97,02</td><td>0,60</td><td>»</td><td colspan="2">1,22</td><td>0,31</td></tr>
<tr><td>C</td><td>2,396</td><td>1,13</td><td>97,44</td><td>0,42</td><td>0,10</td><td colspan="2">0,40</td><td>0,02</td></tr>
<tr><td>D</td><td>»</td><td>1,87</td><td>97,27</td><td>0,35</td><td>»</td><td>0,39</td><td>0,06</td><td>traces</td></tr>
<tr><td>E</td><td>2,322</td><td>1,20</td><td>97,82</td><td>0,58</td><td>0,13</td><td colspan="2">0,54</td><td>0,10</td></tr>
<tr><td>F</td><td>2,511</td><td>2,12 *</td><td>92,70</td><td>0,56</td><td>0,37</td><td>2,65</td><td>0,23</td><td>0,88</td></tr>
<tr><td>G</td><td>2,251</td><td>5,09 **</td><td>89,67</td><td>0,90</td><td>0,41</td><td colspan="2">2,12</td><td>0,00</td></tr>
<tr><td>H</td><td>2,183</td><td>2,30</td><td>96,25</td><td>0,17</td><td>0,17</td><td colspan="2">0,24</td><td>0,19</td></tr>
<tr><td>I</td><td>2,414</td><td>4,87</td><td>89,94</td><td>0,64</td><td>0,33</td><td>2,58</td><td>0.09</td><td>0,86</td></tr>
<tr><td>J</td><td>2,158</td><td>32,63</td><td>64,31</td><td>0,50</td><td>0,56</td><td>0,75</td><td>0,45</td><td>0,17</td></tr>
<tr><td>K</td><td>2,320</td><td>36,73 ***</td><td>58,64</td><td>0,83</td><td>0,58</td><td>0,33</td><td>0,28</td><td>0,11</td></tr>
<tr><td>L</td><td>2,698</td><td>8,42</td><td>88,82</td><td>0,78</td><td>0,46</td><td>1,12</td><td>0,18</td><td>0,23</td></tr>
<tr><td>M</td><td>2,415</td><td>66,55</td><td>29,62</td><td>0,98</td><td>0,67</td><td>1,43</td><td>0,67</td><td>0,03</td></tr>
<tr><td>N</td><td>2,325</td><td>40,45</td><td>56,43</td><td>0,20</td><td>0,52</td><td colspan="2">2,20</td><td>0,21</td></tr>
<tr><td>O</td><td>2,429</td><td>66,17</td><td>21,68</td><td>0,26</td><td>0,83</td><td colspan="2">9,50</td><td>1,56</td></tr>
<tr><td>P</td><td>2,482</td><td>55,15</td><td>40,65</td><td>0,60</td><td>0,32</td><td colspan="2">2,50</td><td>0,80</td></tr>
</table>

* Avec 0,90 de glauconie. | ** Avec 2,73 de glauconie. | *** Sable très-fin et argile.

Ces recherches de M. Savoye complètent les renseignements que nous avons donnés, dans les revues antérieures de géologie, sur la composition chimique et minéralogique de la craie.

Il importe d'observer que, les différents étages du terrain crétacé supérieur du nord de la France, contiennent des proportions très-notables d'acide phosphorique, même dans les parties dans lesquelles on n'observe pas des nodules de phosphates.

Comme plusieurs étages contiennent en outre de la glauconie, et sont par conséquent pourvus de potasse, il est facile de comprendre pourquoi le sol de la Flandre et des régions voisines présente une aussi grande fertilité.

Les analyses de M. Savoye ont montré du reste que, contrairement à ce qu'il semblerait, au premier abord, assez naturel de croire, le têt spathique des micrasters ne renferme pas d'acide phosphorique, tandis qu'il y en a dans la craie qui les enveloppe.

Calcaire marneux.

TRÉVOL. — M. Ravier, ingénieur en chef des ponts et chaus-

sées, a fait connaître un gisement dans lequel on trouve du calcaire marneux qui est propre à la fabrication de la chaux hydraulique. Situé au nord de Moulins, dans la commune de Trévol, ce calcaire appartient, d'après la carte géologique qui a été dressée par M. l'ingénieur des mines Boulanger, au terrain tertiaire du département de l'Allier. Il se compose de deux bancs placés immédiatement l'un au-dessous de l'autre. Son analyse a été faite par M. L. Durand-Claye au laboratoire de l'École des ponts et chaussées :

	CaO	MgO	Al^2O^3,Fe^2O^3	Résidu insoluble dans l'acide.	Perte au feu.	Somme.
Banc supérieur. .	47,30	0,35	1,75	11,30	39,30	100,00
Banc inférieur. . .	47,15	0,40	1,60	10,75	40,10	100,00

Les deux bancs présentent la même composition, et ils fournissent d'ailleurs de la chaux moyennement hydraulique.

Armagnac. — Plusieurs calcaires lacustres appartenant à l'étage inférieur du miocène de l'Armagnac ont été analysés par M. E. Jacquot (1), inspecteur général des mines :

A. Calcaire exploité pour chaux hydraulique; de Moulin-du-Pénon, près Lectoure.

B. Calcaire d'un rouge lie de vin, grenu, rugueux au toucher, formant des couches minces qui alternent avec des calcaires jaunâtres et se lèvent en dalles; du vallon du Masca, près du chemin de Jegun à Lectoure.

C. Calcaire du sommet de l'étage inférieur de l'Armagnac; sur la route d'Auch à Vic, au-dessus du faubourg de l'Oratoire.

	Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique.	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	Eau hygrométrique et combinée.	Somme.
A	12,2	77,0	traces	4,6		5,8	99,6
B	7,0	84,4	4,2	traces	2,2	1,4	99,2
C	12,0	81,8	2,4	»	»	3,8	100,0

Comme le remarque M. E. Jacquot, les calcaires lacustres du terrain miocène de la plaine sous-pyrénéenne contiennent une proportion notable de magnésie.

Calcaire marno-siliceux.

Labatlan. — Une marne calcaire néocomienne de Labatlan

(1) *Description géologique, minéralogique et agronomique du département du Gers.* 47, 56 et 58.

(Hongrie), étudiée géologiquement par M. Max. von Hantken (1), donne, par la cuisson, un ciment naturel ayant à peu près les propriétés du Portland. Voici sa composition d'après une analyse de M. Wartha :

CaO,CO^2	MgO,CO^2	FeO,CO^2	MnO,CO^2	HO	Résidu insoluble.	Somme.
51,04	3,67	1,94	0,52	1,52	41,31	100

Le résidu insoluble est sans doute de la silice; mais il contient aussi du quartz, des oxydes de fer et de manganèse, de la chaux, de l'alumine et un peu d'alcalis.

Comme d'autres calcaires crétacés, celui de Lábatlan renferme beaucoup de silice soluble ; d'après M. Wartha, il en a même 30,76 p. 100 et c'est sans doute la cause principale de sa grande hydraulicité (2).

Marne.

Verneuil. — Un trou de sonde a été foré entre Verneuil et La Ferté-Fresnel (Eure), par M. Renard, directeur de la compagnie chaufournière de l'Ouest. On y a rencontré deux couches de marnes, l'une A, à 43 mètres; l'autre B, à 88 mètres de profondeur. L'analyse de ces marnes a été faite par M. L. Durand-Claye, au laboratoire de l'École des ponts et chaussées; elle a donné les résultats suivants :

	Résidu argileux.	Fe^2O^3,Al^2O^3	Cao	Mgo	Perte au feu.	Somme.
A	67,85	4,55	10,90	0,50	16,20	100,00
B	27,80	2,65	37,00	0,60	31,95	100,00

Poitou. — Une nombreuse collection de marnes du lias, qui avait été recueillie par M. de Longuemar (3) dans le département de la Vienne, a été essayée par M. Guitteau.

A l'ouest du département et dans la vallée de la Vonne, ces marnes contiennent 20 à 27 p. 100 de carbonates ; dans le centre, sur le Clain et dans le sud du département, elles en ont habituellement de 20 à 44 p. 100; tandis qu'au sud-est, elles en renferment de 16 à 60 p. 100. Il résulte de l'ensemble des essais que, dans le Poitou, la proportion du carbonate, contenu dans les marnes du lias, va en augmentant de l'ouest vers le sud-est, c'est-à-dire vers le Plateau central.

(1) *Jahrbuch der Kön. ungar, geologischen Anstalt*, I; 1872.
(2) *Revue de géologie*, VI, 70, et IX, 34.
(3) De Longuemar : *Études géologiques et agronomiques sur le département de la Vienne*, 2ᵉ partie, 45.

La magnésie est en quantité assez variable; cependant il y en a dans toutes ces marnes et généralement elle augmente aussi vers le sud-est. Le carbonate de magnésie peut s'élever à moitié ou même aux deux tiers du poids des carbonates.

Exposées à l'air, les marnes du lias se revêtent d'efflorescences blanches, styptiques, qui sont surtout formées de sulfate de chaux et de sulfate de magnésie.

Ces marnes du lias sont utilisées pour amender les terres du Poitou ; il est probable qu'elles agissent, non-seulement par leur chaux et par leur magnésie, mais encore par leur acide phosphorique, par leurs alcalis, par leur azote et par leurs matières organiques.

OHIO.—M. T.C. Wormley (1) a fait un grand nombre d'analyses de calcaires appartenant au terrain carbonifère inférieur qui s'étend au nord-est de l'État de l'Ohio. Il est bon d'observer que ces calcaires contiennent généralement du carbonate de magnésie et même en forte proportion. On les emploie d'ailleurs à différents usages dans les constructions et, quand ils sont argileux, on en fabrique des chaux hydrauliques et des ciments.

Calcaire saccharoïde.

On sait depuis longtemps qu'il existe de l'albite dans le calcaire métamorphique des Alpes et particulièrement dans celui du Col-du-Bonhomme. M. des Cloizeaux (2) en a également rencontré dans le calcaire des environs d'Aste, dans la vallée d'Ossau (Basses-Pyrénées). De plus, l'albite a été observé par M. vom Rath, dans les géodes du marbre statuaire de Carrare; et suivant M. A. d'Achiardi (3), il est aussi disséminé en cristaux dans les calcaires des Alpes Apuennes, notamment dans les variétés de marbre nommées *grezzone* et *capezzana*.

Roches siliceuses.

Geysérite.

NOUVELLE-ZÉLANDE. —Des dépôts siliceux formés par les geysers de la Nouvelle-Zélande, et rapportés par M. de Hochstetter (4), ont été analysés par M. Mayer:

---

(1) Newberry : *Geological Survey of Ohio, Report of progress in* 1870, p. 448.
(2) *Manuel de minéralogie*, t. I. p. 324.
(3) *R. Comitato geologico d'Italia.* 1871 ; 266.
(4) Hayden : *Preliminary report of the United States Geological Survey of Montana and adjacent territories.* 1871 ; 130.

A de Tétarata. | B de Nagahapu.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Alcalis.	Eau et matières organiques.	Somme.
A	86,03	1,21		0,45	0,40	0,38	11,52	99,99
B	79,34	3,87	1,31	0,27	0,26	0,42	14,50	100

Cette silice est moins pure que celle du geyser de l'Islande qui a été analysée par M. Damour.

Alios.

MÉDOC. — L'alios (1) ne se forme pas seulement sous le sable fin des Landes, mais il se produit aussi sous le sol graveleux et caillouteux du Médoc. D'après M. Léon Périer (2), celui de Montgrand présente une masse friable, de couleur marron ou brun noir, qui est à grain moyen et contient quelques cailloux lui donnant la structure d'un poudingue. Voici quelle est sa composition :

Sable.	Argile.	Fe^2O^3	MgO	Matières organiques	HO	Somme.
90,66	1,17	2,73	0,25	3,07	2,12	100,00

A Lafitte, une variété rousse de cet alios du Médoc renferme seulement 1,94 p. 100 de matière organique.

Grès bigarré.

THURINGE. — M. Richard Lincke (3) a déterminé, par quelques essais, la composition du grès bigarré ou triasique qui borde vers l'est le bassin de la Thuringe.

A. Grès blanc de Schneidemühle.
B. Grès rouge de Wogau.

	Résidu insoluble.	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO,CO^2	MgO,CO^2	HO	Somme.
A	97,99	0,48	0.10	0,22	0,17	0,94	99,90
B	97,79	0,15	0,15	1,18	0,07	0,54	99,88

Le grès bigarré de la Thuringe peut avoir pour ciment des carbonates de chaux et de magnésie, de la dolomie, et aussi d'autres substances.

Quand son ciment est de l'oxyde de fer, sa couleur devient rouge ; elle est jaune quand c'est de la limonite, brun foncé ou

(1) *Revue de géologie*, VIII, 50.
(2) *La Campagne*, journal d'agriculture théorique et pratique consacré aux intérêts du Médoc.
(3) *Neues Jahrbuch*. 1871, 15.

noire quand c'est de l'oxyde de manganèse. Avec l'argile, avec la chaux carbonatée, avec la dolomie, le grès est grisâtre ou blanchâtre; avec le kaolin il devient quelquefois blanc comme de la craie, notamment à Eisenberg.

M. Lincke a constaté dans ce grès la présence d'un peu d'acide phosphorique; et à l'aide du microscope, M. E. E. Schmid a même cru y reconnaître de petits cristaux d'apatite.

Roches argileuses.

Argile.

ARMAGNAC. — M. E. Jacquot (1) a donné la composition d'une glaise qui est intercalée à Masca (Gers), dans le miocène appartenant à l'étage lacustre inférieur de l'Armagnac. Cette glaise est savonneuse, grise, maculée de rouge-violacé, et contient des rognons ferrugineux :

SILICE et sable fin.	Al^2O^3	Fe^2O^3	Eau.	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Somme.
53,3	29,8	2,0	13,5	0,5	0,9	100,0

CUBA, NOUVELLE-ORLÉANS.— M. Ch. Barbier, ingénieur, a fait essayer par M. L. Durand-Claye, au laboratoire de l'Ecole des ponts et chaussées, trois argiles, provenant l'une de l'île de Cuba, et les deux autres de la Nouvelle-Orléans.

Celle (A) de l'île de Cuba est grise, et se trouve dans le voisinage de la Havane.

Celle (B) de la Nouvelle-Orléans est onctueuse, de couleur rosée, et offre une cassure conchoïde. Elle s'exploite à quelques milles en amont du Mississipi, et à une altitude de 8 à 10 mètres au-dessus de ses débordements les plus grands; elle forme, en ce point, le sol naturel de ses bords.

Enfin la troisième (C) est extraite, pendant l'étiage, du lit du fleuve en face de la Nouvelle-Orléans; elle est d'un gris jaunâtre, rugueuse au toucher, et présente une grande quantité de paillettes de mica.

La composition chimique de ces argiles est la suivante :

	SiO^2	Al^2O^3,Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu.	Somme.
A	74,30	14,20	1,60	0,40	9,50	100,00
B	64,10	23,40	0,70	1,00	10,80	100,00
C	69,70	17,10	2,60	0,90	9,70	100,00

(1) *Description géologique, minéralogique et agronomique du département du Gers*, 56.

Argile associée aux combustibles minéraux.

FRANCE. — L'argile associée aux combustibles minéraux est fréquemment réfractaire, et il est utile de connaître sa composition ; M. Ch. Mène (1) a fait plusieurs analyses de celle qui provient des bassins houillers ou anthraxifères de la France :

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	Alcalis.	Matières charbonneuses.	HO	Somme.
Rive-de-Gier.	2,035	59,1	26,5	1,0	0,7	1,2	2,0	9,0	99,5
Sainte-Foy-l'Argentière.	2,200	56,8	30,3	0,9	1,0	2,0	1,5	7,5	100,0
Terrenoire.	1,982	57,5	28,2	1,5	1,5	0,8	0,9	9,2	99,6
Saint-Étienne, Méon.	2,118	58,6	27,7	0,9	1,4	1,4	0,6	9,2	99,8
Graissessac.	1,990	63,9	23,9	0,8	0,9	0,9	0,8	8,7	99,9
Decize.	2,148	57,1	30,0	1,1	2,1	1,2	0,7	7,4	99,6
Creuzot.	2,154	58,2	30,0	0,9	0,9	0,7	0,5	8,4	99,6
Mont Cenis.	2,172	61,0	27,8	1,0	0,5	0,5	0,5	6,2	97,5
Blanzy.	2,042	66,2	20,0	2,0	0,5	0,3	1,0	10,0	100,0
Mont Chanin.	2,158	65,3	21,7	1,3	0,4	0,5	0,8	9,7	99,7
Carmeaux.	1,992	63,1	26,2	1,2	0,7	0,7	0,6	7,7	100,2
Aubin.	2,065	62,5	27,0	0,9	0,2	1,4	1,0	6,9	99,9
Nord, Anzin.	2,108	56,9	27,0	0,9	4,1	0,5	0,6	9,7	99,7
Nord, Denain.	2,093	65,6	19,2	0,9	4,0	0,5	0,5	9,2	99,9
Sarthe.	2,251	56,0	30,0	1,1	1,5	0,9	1,1	9,0	99,6
Nort.	2,193	57,6	27,7	2,0	1,7	1,2	0,9	8,8	99,9
Mayenne.	2,189	61,0	24,8	1,8	3,5	0,5	0,8	6,6	99,0

On peut constater que les argiles du terrain houiller et anthraxifère de la France présentent une composition chimique qui varie dans des limites peu étendues. Elles sont assez riches en alumine, mais contiennent extrêmement peu de fer, de chaux et d'alcalis. Elles ont une proportion d'eau qui varie de 6 à 11 p. 100. Quant à leur densité, elle se trouve comprise entre 1,9 et 2,3.

Comme l'observe M. Ch. Mène, la composition de ces argiles n'est pas en relation avec l'âge du terrain ; elle reste à peu près la même dans le terrain houiller ou anthraxifère.

AMÉRIQUE DU NORD. — On sait que les couches de houille reposent sur une argile que les Anglais nomment *underclay*, et qui est habituellement réfractaire. Des analyses de cette argile et de quelques autres, qui sont également réfractaires, ont été faites récemment par plusieurs chimistes américains (2).

A. *Underclay* de Mogadore, comté Summit, Ohio (M. Wormley).
B. *Id.* de Sciotoville, Ohio. Partie supérieure de la couche (M. Wormley).

---

(1) *Comptes rendus*, LXXIII, 860.
(2) *Geological Survey of Ohio*, 1870, 50.

C. *Id.* du mont Savage, Maryland (M. J. M. Ordway).
D. Argile réfractaire et crétacée de Woodbridge, New-Jersey (M. Geo Cooke).
E. Argile réfractaire de Saint-Louis, Missouri (M. A. Litton).

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	70,70	21,70	»	0,40	0,37	»	»	5,45	98,62
B	61,90	22,80		0,05	0,70	0,90		12,90	99,25
C	50,46	35,90	1,50	0,13	0,02	traces	»	12,74*	100,75
D	46,32	39,74	0,27	0,36	0,44	»	»	12,67	99,80
E	61,02	25,64	1,70	0,70	0,08	0,48	0,25	10,00	99,87**

* Avec matière organique. | ** Avec 0,45 de soufre.

Limon.

GARONNE. — La *Revue de géologie* a déjà rendu compte des recherches de M. Hervé Mangon sur les limons qui sont entraînés actuellement par les cours d'eau. Ces recherches se continuent au laboratoire de l'Ecole des ponts et chaussées où M. L. Durand Claye a eu l'occasion d'examiner, ainsi que l'avait fait déjà l'École des mines, des limons, pris dans la Garonne, aux abords de Bordeaux (1). Leur composition varie peu de l'un à l'autre, et ils ont donné à l'analyse les résultats ci-dessous qui représentent la moyenne obtenue pour 11 échantillons :

RÉSIDU argileux.	Fe^2O^3,Al^2O^3	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Azote.	MATIÈRES combustibles et produits non dosés.	Somme
67,77	14,11	9,17	1,62	0,14	7,18	99,99

M. Durand Claye a déterminé, pour quelques-uns de ces échantillons, l'acide phosphorique et la potasse. Il y a trouvé des doses variant de 0,05 à 0,07 p. 100 pour l'acide phosphorique, et de 0,27 à 0,51 p. 100 pour la potasse.

CHARENTE. — Des essais faits par M. B. Roux (2) ont montré que le limon très-fin qui reste en suspension dans les eaux de la Charente, à Rochefort, contient de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer, des carbonates de chaux et de magnésie, du sulfate de chaux ainsi que des matières organiques azotées.

Voici du reste, d'après M. Roux, quelle est la composition des vases qui se déposent dans la Charente, à Rochefort :

(1) *Revue de géologie*, VIII, 42.—Voir aussi *Lithologie du fond des mers*, ch. V.
(2) *Archives de médecine navale.*

A. A marée basse, sur les berges. Au microscope on y distingue un grand nombre d'infusoires.

B. Dans le bassin à flot. Elle est argileuse et de couleur bleue ; elle a été desséchée à 100 degrés.

	SiO^2	Al^2O^3	CaO,CO^2	Fe^2O^3	CaO,SO^3	NaCl	MgO,CO^2 $3CaO,PO^5$ et perte.	EAU matières organiques.	Somme.
A	50,8	20,3	15,2	4,9	0,3	0,1	0,3	8,1*	100,0
B	54,33	22,70	12,58	4,77	1,32	0,55	0.54	3,03**	99,82

* Avec 0,18 d'azote. | ** Avec 0,117 d'azote.

Ces vases de Rochefort sont des variétés de la *terre de bri* (1).

NIL. — Enfin, selon M. A. Houzeau (2), le limon qui se trouve en suspension dans les eaux du Nil aurait, après dessication à l'air, la composition suivante :

Argile et sable	60,71	Carbonate de chaux et de fer	0,57
Alumine	8,27	Sulfate de chaux	0,56
Oxyde de fer, magnésie et traces de phosphate	0,57	Substances organiques et perte	5,49
		Eau	7,70

Boue souterraine.

ITALIE. — M. de Luca (3) a donné la composition chimique d'une boue éruptive, qui avait été rejetée à S. Sisti, pendant un tremblement de terre :

	Densité.	Humidité.	Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique.	CaO	MgO	Al^2O^3, Fe^2O^3	CO^2	S*
Prise à la surface	2,38	27,10	84,10	8,70	0,89	3,80	9,80	2,00
Prise à 1 mètre de profondeur.	2,45	32,20	64,90	6,40	0,49	2,70	6,50	1,10

* Soufre à l'état de sulfure de fer.

Argile magnésienne.

L'étage à lignites de Fohnsdorf, en Styrie, contient une couche d'argile magnésienne, qui est très-pure, douce au toucher, et remarquable par sa grande plasticité. Son épaisseur est environ de

(1) *Lithologie du fond des mers*, t. I, p. 191.
(2) A. Strecker : *Jahresbericht der Chemie*, 1869.
(3) *R. Comitato geologico d'Italia*, 1871, nos 7 et 8, p. 188.

3 mètres, et M. Ch. de Hauer (1) a trouvé pour sa composition :

SiO^2	Al^2O^3	MgO	HO	Somme *.
59,2	14,0	6,2	20,3	99,7

* CaO et Fe^2O^3 traces.

Cette argile magnésienne est une sorte de *pierre de savon* dont M. Ch. de Hauer attribue la formation à la décomposition de la serpentine. Toujours est-il qu'on trouve des argiles analogues, ayant même une richesse en magnésie qui s'élève à 33 p. 100, et qui sont associées à la serpentine du Cornouailles.

Argile ferrugineuse.

JAVA. — Mentionnons encore une argile ferrugineuse, très-grasse, de Kedirie (Java), qui a été analysée par M. Hebberling (2) :

SiO^2	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	MnO	KO	NaO	Eau et matières organiques.	Somme.
39,77	9,81	25,94	3,03	1,35	0,59	0,57	3,86	14,80	99,72

Cette argile est très-exceptionnelle; car elle donne à l'analyse 0,61 p. 100 d'ammoniaque, et de plus elle est mangée par les Javanais.

Schiste argileux.

NORDHALBEN. — Le schiste argileux de Nordhalben, dans la haute Françonie, présente une substance qui est en veines légèrement fibreuses, formant de petites masses aplaties. D'après M. le professeur de Kobell (3) qui l'a étudiée, sa couleur est blanc-verdâtre, son éclat soyeux ou nacré. Elle est transparente, tendre et flexible; au chalumeau, elle se gonfle et, quand elle est très-mince, se fond en une sorte de porcelaine. Les acides ne l'attaquent pas.

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MgO	KO	HO	Résidu.	Somme.
50,52	31,04	3,00	1,88	3,18	7,00	1,46	98,08

M. de Kobell pense que c'est un minéral nouveau pour lequel il propose le nom de *Gümbelite,* en l'honneur de M. Gümbel, le savant géologue bavarois.

Nous observerons d'ailleurs que son gisement et ses propriétés paraissent la rapprocher de la Damourite et des Margarophyllites (Dana).

(1) *Neues Jahrbuch.* 1871; p. 177.
(2) *Jahresbericht d. Chemie :* 1869, p. 1119.
(3) *Neues Jahrbuch.* 1871, p. 175.

Schiste ardoisier.

DELABOLE. — M. A. Phillips (1) a analysé le schiste ardoisier de Delabole, près de Camelford. Ce schiste qui présente une couleur grisâtre, est de très-bonne qualité et se laisse facilement diviser en ardoises très-minces :

Densité.	SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
2,81	58,35	0,23	22,04	6,96	2,57	0,39	1,10	2,45	1,23	4,60	99,92

Killas.

M. Arthur Phillips (2) a fait une étude du schiste argileux que les mineurs du Cornouailles désignent sous le nom de *killas*. Le plus ordinairement, cette roche paraît appartenir au terrain dévonien ; mais ses caractères sont très-variables, comme on peut en juger :

A. *Killas* gris clair, très-tendre, happant légèrement à la langue et donnant l'odeur argileuse ; du haut du puits de la mine Polgooth.

B. *Killas* très-dur et gris, pris à la profondeur de 146 mètres dans le même puits.

C. *Killas* d'une couleur grise, pris à la profondeur de 183 mètres dans le même puits.

D. *Killas* vert grisâtre, pris à la profondeur de 73 mètres dans la mine Polmear.

E. *Killas* très-dur, peu fissile, avec fer oxydulé, minéral chloritique et petits cristaux paraissant se rapporter à de l'hornblende ; pris à la profondeur de 393 mètres, au voisinage du granite dans la mine Dolcoath qui est exploitée pour cuivre et étain.

F. *Killas* très-dur, vert grisâtre, à structure tabulaire, contenant des cristaux de pyrite ; du Botallack.

G. *Killas* vert foncé, ayant perdu la structure schisteuse et se rapprochant de la serpentine ; pris à la profondeur de 238 mètres, dans la mine du Botallack.

	Densité.	SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	2,60	60,45	0,21	20,67	8,21	1,91	1,86	traces	0,74	1,56	4,16	100,20 *
B	2,74	63,00	»	20,50	3,56	3,10	1,35	»	0,95	3,07	3,66	99,19
C	2,73	50,83	»	20,90	13,39	5,14	1,56	»	0,91	4,20	3,20	100,13
D	2,68	49,33	»	18,00	12,63	8,56	2,14	»	0,57	0,75	6,66	99,14 **
E	2,71	57,29	0,13	20,75	2,99	1,66	1,95	»	0,61	3,40	1,16	99,94
F	2,95	40,27	0,15	24,03	4,26	11,34	4,16	6,46	1,66	3,54	3,12	99,65 ***
G	2,82	32,93	»	16,69	7,17	13,67	5,02	11,43	0,78	0,64	11,06	99,39

* Oxyde mangano-manganique, 0,43 | ** Pyrite de fer, 0,80
*** Acide phosphorique, 0,66

(1) *Neues Jahrbuch*. 1871, p. 524.
(2) *Philosophical Magazine*. 1871, 87, et *Neues Jahrbuch*. 1871, 522.

On voit que le killas présente des variations très-notables dans sa densité ainsi que dans sa composition chimique. Quand ses proportions d'eau et de magnésie augmentent, il peut même devenir serpentineux (G).

Constatons aussi que le killas dur de Dalcoath (E), qui se trouve au contact du granite, paraît avoir subi un métamorphisme spécial qui a altéré sa composition : en effet, il ne contient guère que 1 p. 100 d'eau, tandis qu'il y en a plusieurs centièmes dans le killas normal ; d'un autre côté, sa dureté et sa richesse en silice semblent bien indiquer qu'il a été silicifié, sans doute par des eaux minérales accompagnant l'éruption du granite.

Roches silicatées non feldspathiques.

Péridotite.

DREISER WEIHER. — M. le professeur C. Rammelsberg (1) a fait l'analyse de la péridotite de Dreiser Weiher en recherchant séparément la composition de la partie attaquable I (68,0 p. 100) et celle de la partie inattaquable II (29,69 p. 100).

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	Somme.
I	40,02	»	10,00	»	49,98	100,00
II	52,45	5,86	5,86	7,71	28,12	100,00

Cette roche est essentiellement formée de péridot, et elle contient en outre de la bronzite, du diopside, ainsi que de la picotite.

Serpentine.

D'après M. le professeur Rammelsberg (2) la serpentine aurait la moitié de son eau qui serait de l'eau de constitution, et il conviendrait de la représenter par la formule $H^2Mg^6Si^4O^8 + aq$; de cette manière, sa production aux dépens du péridot, résulterait du remplacement de 1Mg par 2H et par l'adjonction de 1 aq. Du reste, M. Rammelsberg considère aussi l'argile comme un hydro-silicate de la formule $H^2Al^2Si^2O^8 + aq$.

LIZARD. — La serpentine classique du cap Lizard en Cornouailles vient d'être analysée par M. A. Phillips (3). On sait qu'elle présente une structure légèrement grenue, et que sa belle couleur

(1) *Neues Jahrbuch*. 1871, 527.
(2) *Jahresbericht der Chemie*, 1869, 1220.
(3) *Neues Jahrbuch* 1871, 649.

vert foncée, flambée de rouge, la fait tout spécialement rechercher pour la décoration.

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	NiO	Cr^2O^3	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
38,80	2,95	1,86	5,04	0,28	0,08	34,61	0,33	0,77	15,52	100,24

On peut observer qu'elle contient une petite proportion d'alcalis ; elle renferme aussi plus d'eau, plus d'alumine et un peu moins de magnésie et de silice que la serpentine normale. Comme dans d'autres serpentines, on y trouve du reste du nickel et du chrôme.

Grunstein serpentineux.

MENHENIOT. — Dans le Cornouailles, à Menheniot, une sorte de grunstein serpentineux alterne un grand nombre de fois avec le schiste. Sa dureté est assez grande, et il présente une couleur vert foncé. On y observe des grains de fer oxydulé. Il est en outre traversé par de la chaux carbonatée et par des veines d'un minéral asbestiforme qui est probablement du chrysotil. Voici sa composition d'après M. Arthur Phillips (1) :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CrO	CaO	MgO	NaO	HO	Somme.
2,77	38,60	17,58	14,98	4,62	0,14	5,04	5,97	0,84	10,66	98,43*

* Traces de titane, d'acide phosphorique et de magnésie.

Par ses propriétés, comme par son gisement, cette roche se rapproche beaucoup du killas serpentineux dont la composition a été donnée précédemment (2).

Néphrite.

NOUVELLE-ZÉLANDE. — La néphrite de la Nouvelle-Zélande, qui est employée par les Sauvages pour la fabrication de leurs armes, a été examinée par M. Kenngott (3). Sa densité est 3,03. Sa dureté varie de 5 à 6. Au chalumeau, elle fond très-difficilement. Vue au microscope, elle paraît formée d'un minéral unique, ayant une structure cristalline microscopique. L'analyse a été faite par M. le professeur Schéerer :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	HO	Somme.
57,10	0,72	1,39	23,29	13,48	2,50	100

Une autre analyse de M. de Fellenberg indique dans la même

(1) *Neues Jahrbuch.* 1871, 642.
(2) *Revue de géologie*, X.
(3) Dana et G. J. Brush. *A system of mineralogy*, 237.

roche 0,46 d'oxyde de manganèse et 0,22 d'oxyde de nikel. La formule représentant cette néphrite de la Nouvelle-Zélande est celle de l'amphibole grammatite $9SiO^2,8RO$. C'est d'ailleurs le résultat que M. Damour avait obtenu précédemment, en faisant l'analyse de néphrites provenant de pays très-divers.

Schiste talqueux.

OURAL. — Le schiste talqueux et stéatiteux des montagnes Schischimskisch, dans l'Oural, contient un minéral étudié d'abord par M. G. Rose qui lui a donné le nom de xanthophyllite. Ce minéral, très rare, est un silicate hydraté, qui contient seulement 16 p. 100 de silice; il est surtout très-riche en alumine et renferme aussi de la magnésie ainsi que de la chaux. Or, comme nous l'avons indiqué déjà, M. le professeur P. de Jeremejew (1) a cru reconnaître que la xanthophyllite se trouve parsemée de cristaux microscopiques de diamant. Leur forme est l'hexakistétraèdre et leurs dimensions sont comprises entre 0,05 et 0,5 de millimètre. On les observe surtout dans les variétés verdâtres, tandis que leur nombre et leur grosseur diminuent dans les xanthophillites brunâtres ou gris clair; dans celles qui sont incolores et surtout jaunes, il paraît qu'on peut encore en rencontrer, mais il y en a moins ou même pas du tout.

Le diamant se rencontre également dans le schiste talqueux ou stéatiteux qui se trouve au contact de la xanthophyllite; toutefois il est en cristaux moins nets et beaucoup moins nombreux que dans la xanthophyllite elle-même.

Comme le remarque avec raison M. P. de Jeremejew, la présence du diamant dans une roche hydratée comme le schiste talqueux, qui est visiblement contemporain de sa formation, ne permet guère de lui attribuer une origine ignée. C'est ce qui résulte aussi de sa présence dans l'itacolumite du Brésil.

Il serait du reste intéressant de rechercher s'il existe du diamant dans les minéraux analogues à la xanthophyllite, particulièrement dans la clintonite de Mather et dans la seybertite de Clemson.

---

(1) *Neues Jahrbuch*. 1871, 589.

Roches feldspathiques plutoniques.

Pegmatite.

Saint-Austell. — L'orthose blanc jaunâtre de la roche granitique de Saint-Austell, qui sert en Angleterre à fabriquer de la porcelaine, a été analysé par M. Arthur Phillips (1) :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	KO	NaO	HO	Somme.
2,55	65,33	19,16	1,50	1,68	10,37	2,40	0,50	100,94

On voit que cet orthose contient une proportion de chaux un peu plus grande que celle qui est habituelle.

Écosse. — Les divers minéraux qui constituent les granites de l'Écosse ont été analysés par M. S. Haughton (2).

A. Orthose rouge de chair, du granite éruptif de Stirling Hill, près Peterhead.
B. Oligoclase blanc grisâtre, du granite de Rhiconich (Sutherland).
C. Mica blanc, du granite de Rubislaw, près Aberdeen.
D. Mica noir, d'Aberdeen.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	FlSi	HO	Somme.
A	65,40	19,04	traces	»	»	0,22	traces	3,63	11,26	»	0,20	99,75
B	61,88	24,80	»	»	»	4,93	traces	8,12	0,98	»	»	100,71
C	44,40	37,36	2,04	»	0,24	0,78	0,57	0,93	9,87	0.16	1,84	98,19
D	36,15	16,50	18,49	6,76	1,80	1,11	7,44	0,92	8,77	»	1,60	99,54

Ces analyses concordent avec les résultats obtenus par M. S. Haughton pour les granites de Donégal en Irlande, et aussi avec ceux trouvés antérieurement pour les roches granitiques des Vosges (3).

Baveno. — Le granite classique de Baveno (4) et celui de Montorfano ont été analysés par M. le professeur Schéerer (5). Le premier (A), qui est rouge, contient du quartz, de l'orthose, de l'oligoclase et deux micas : en outre, de l'albite y est intimement associé à de l'orthose, et l'on y observe de l'hornblende, de l'épidote, de la tourmaline, de la laumonite, de la datholite, de la cha-

(1) *Neues Jahrbuch.* 1871, 649.
(2) *Neues Jahrbuch.* 1871, 83.
(3) Delesse : *Annales des mines* [4] XVI et [5] III. Pegmatite et granite des Vosges.
(4) *Revue de géologie*, VII, 90.
(5) *Comitato geologico italiano.*

basie, de la chlorite, de la chaux carbonatée, de la limonite, du kaolin, etc.

Le deuxième (B), qui est blanc, renferme de l'albite avec l'orthose ainsi que de la chlorite, de la laumonite, de la chabasie, de la chaux carbonatée, des pyrites. Son analyse montre qu'il est le plus riche en soude dont il contient même une proportion supérieure à celle de la potasse.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	75,30	12,93	1,55	1,26	0,53	7,56	»	0,41	99,54
B	72,12	13,47	4,80	0,79	0,05	2,25	5,91	1,58	100,97

Granulite.

SAXE. — Les granulites ou leptynites (Weisstein) de la Saxe, qui avaient été analysés déjà par M. le professeur Schéerer, viennent encore de l'être par M. A. Stelzner (1), qui s'est occupé aussi de leur examen microscopique :

A. Granulite normal de Neudorfchen, près Mittweida.
B. Granulite normal de Klaumühle, près Limbach.
C. Granulite normal de Röhrsdorf.
D. Granulite gneissique de Steinda, près Hartha.
E. Granulite gneissique de Harmannsdorf, près Burgstadt.
F. Granulite normal de Penig.

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	75,80	12,09	2,18	1,45	0,38	4,27	2,72	0,63	99,52
B	75,46	12,09	3,38	1,22	0,66	3,96	2,46	0,63	99,86
C	75,46	13,45	2,22	0,73	0,42	3,65	2,48	1,11	99,52
D	74,60	12,84	2,39	0,73	0,23	5,82	2,39	1,02	100,02
E	73,47	11,07	5,33	1,81	0,73	3,76	2,89	0,77	99,83
F	72,97	12,69	4,10	2.33	0,63	3,46	3,16	0,58	99,92

L'analyse du *granulite trappéen* ou vert noirâtre, qu'on trouve associé au granulite normal, a donné les résultats suivants :

G. Granulite trappéen de Ringethal, près Mittweida.
H. Granulite trappéen de Klaumühle, près Limbach. Il alterne en plaques qui se distinguent bien dans le granulite B.
I. Granite trappéen de Hartmannsdorf, près Burgstadt.

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	HO	Somme.
G	56,92	14,63	12,14	8,56	6,10	1,46	99,81
H	49,95	13,95	15,97	10,37	7,91	1,67	99,82
I	49,73	12,81	16,75	11,13	7,41	1,94	99,77

(1) *Neues Jahrbuch.* 1871, 245.

La comparaison des analyses qui précèdent montre des différences bien tranchées entre la composition du granulite normal et celle du granulite trappéen.

Le premier est riche en silice ainsi qu'en alcalis et pauvre en fer, tandis que le deuxième est pauvre en silice et dépourvu d'alcalis, qui sont remplacés par de la chaux et par de la magnésie ; dans le granulite trappéen, le fer est d'ailleurs abondant et, en partie, à l'état de fer oxydulé.

En regardant sous le microscope les deux roches amincies en plaques transparentes, M. Stelzner a reconnu, que les différences présentées dans leur composition chimique, sont bien en rapport avec leur constitution minéralogique. Car le granulite normal est formé presque entièrement de quartz et d'orthose, avec un peu de grenat et de disthène ; tandis que le granulite trappéen, dont la constitution est très-inégale, laisse exceptionnellement reconnaître du quartz, de l'anorthose, du fer oxydulé. Tantôt il est pauvre en grenat ; tantôt, au contraire, il en contient beaucoup, et il passe même à une sorte de grenatite. M. Stelzner mentionne du reste dans le granulite trappéen un mica vert dont la présence, non plus que celle du feldspath, ne peut s'expliquer en admettant l'absence complète d'alcalis qui est indiquée par ses analyses.

Enfin M. Stelzner observe encore, comme particularité du granulite trappéen, que son quartz et son feldspath contiennent beaucoup de microlithes ainsi que des pores vitreux et lithoïdes.

Gneiss.

Alpes Pennines. — Les gneiss du versant méridional des Alpes Pennines, ont été étudiés par M. H. Gerlach et analysés par M. le professeur Schéerer (1) :

A. Gneiss de Crodo, formant un petit amas qui surgit du micaschiste.
B. Gneiss de Monte Leone et de Binnenthal.
C. Gneiss d'Antigorio.

	SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	75,90	»	12,95	1,31	1,48	0,16	5,12	2,39	0,40	99,71
B	75,32	»	13,32	2,25	0,95	0,43	5,09	2,22	0,40	99,98
C	65,60	0,40	16,02	4,98	3,95	1,11	3,43	3,07	0,48	99,04

Syénite.

M. Wiser (2) a observé, dans la syénite de Blansko, un anor-

(1) *Comitato geologico italiano.*
(2) *Neues Jahrbuch.* 1871, 517.

those décomposé, qui est associé à des cristaux d'orthose bien conservés. Son analyse a été faite par M. F. de Vivenot:

SiO^2	PO^5	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO,KO	NaO	HO	Somme.
45,49	traces	22,86	1,69	2,04	1,76	21,81	traces	3,08	1,84	100,57

Ce feldspath, qui est à base de chaux et de soude, renferme très-peu de silice; on l'a nommé *plagioclase*.

— La syénite de Plauensch Grund contient quelquefois, dans ses druses, de la baryte sulfatée ainsi que de la chaux carbonatée et de la dolomie (1). D'un autre côté, la syénite de Norwége peut renfermer du silex (2). La présence de ces divers minéraux, qui ont une origine aqueuse, est donc assez intéressante à signaler.

Porphyre quartzifère.

CAMPIGLIA. — Une roche de Campiglia (Toscane), qui renferme beaucoup de dichroïte, bien cristallisée et ayant une belle couleur bleu-violacée, avait d'abord été considérée comme un trachyte, par M. vom Rath (3); mais, suivant M. le professeur Ch. Naumann (4), ce serait, en réalité, un porphyre quartzifère.

Du reste, la dichroïte est quelquefois associée au feldspath sanidine, minéral caractéristique des roches trachytiques; c'est, en particulier, ce qui a été constaté au lac de Laach.

TEPLITZ. — Un porphyre quartzifère des environs de Teplitz, a été analysé par M. J. Stingl (5) dans le laboratoire du professeur Bauer:

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MnO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
2,64	73,09	11,61	7,62	0,88	0,99	3,19	2,19	0,70	100,27

Hyalomicte.

VICTORIA. — A Yea (Victoria), M. Ulrich indique un greisen ou hyalomicte, contenant du molybdène sulfuré dont les lamelles sont généralement intercalées entre celles de mica.

Diorite.

CORNOUAILLES. — M. Arthur Phillips (6) a analysé et étudié au microscope deux roches dioritiques du Cornouailles:

(1) Ch. Fischer: *Isis*, 1871.
(2) *Revue de géologie* : IX, 54.
(3) Landgrebe. *Mineralogie der Vulcane*, 117.
(4) Naumann. *Lehrbuch der Geognosie*, III.
(5) *Sitzungsber. d. K. Acad. d. Wissenscha.* LXI.
(6) *Neues Jahrbuch* : 1871, 647.

A. Diorite de Saint-Mewan, qui s'exploite sur une grande échelle pour l'entretien des routes. Elle est cristalline, vert foncé. On y distingue au microscope de l'anorthose, de l'hornblende, une sorte de chlorite ou de terre verte, de la pyrite de fer, et il y a probablement aussi de l'apatite.

B. Grünstein rhombique de Saint-Austell, offrant la même composition minéralogique que la diorite précédente, mais ayant une structure moins cristalline et paraissant être un schiste métamorphique.

	Densité.	SiO^2	PO^5	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	Mn^2O^3	CaO	KO	NaO	HO	Somme.
A	2,97	17,66	0,16	17,50	12,52	9,42	»	4,20	2,43	5,19	0,83	99,91*
B	2,86	47,68	»	17,13	11,73	10,71	0,42	6,28	2,94	2,53	1,00	100,42**

* Traces d'acide titanique, de magnésie et de soufre.
** Traces d'acide titanique, d'acide phosphorique et de magnésie.

Ces roches ont à peu près la même composition que certaines diorites des Vosges ; toutefois, il est bizarre qu'on y ait trouvé seulement des traces de magnésie, et il est probable que la plus grande partie de cette base aura été entraînée dans le précipité d'alumine et de fer.

Gabbro.

Les roches qu'on désigne généralement en Allemagne sous le nom de *gabbro*, les hypersthénites et les roches serpentineuses qui en sont voisines, ont été examinées au microscope par M. A. Hagge (1). Dans un grand nombre d'entre elles, la présence du péridot a été constatée, conformément à ce qu'avait indiqué déjà M. G. Rose pour certains gabbros de Silésie (2).

Saxe.— M. A. Stelzner (3) a donné la composition des gabbros qui sont associés au granulite de la Saxe.

I. Gabbro compacte de Böhringen.
II. Gabbro à grain moyen, de Mahlitzsch, près Rosswein.
III. Hypersthénite de Höllenmuhle, près Penig.

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
50,54	12,90	13,01	10,95	6,85	0,82	2,03	1,08	98,18*
49,45	19,28	11,93	9,86	4,18	»	2,59	2,35	99,64**
48,85	19,45	8,15	17,51	3,85	»	»	1,03	98,84***

* 2,28 protoxyde de manganèse.
** 0,22 acide sulfurique et traces d'oxyde de manganèse.
*** 0,82 acide carbonique et traces d'oxyde de manganèse.

(1) *Mikroscopische untersuchungen uber Gabbro und verwandte Gesteine.*
(2) *Revue de géologie*, VII, 98.
(3) *Neues Jahrbuch* : 1871, 245.

Ces roches présentent des alternances bien distinctes avec le granulite, et M. Stelzner les considère comme des variétés cristallines du granulite trappéen de la même région, dont la description a été donnée précédemment; du reste, elles appartiennent toutes à la formation du granulite.

Granitone.

Toscane. — Depuis un temps immémorial on a désigné sous le nom de *granitone* une roche qui ressemble beaucoup au phorphyre de Ternuay, dans les Vosges, et qui se trouve au Monte Ferrato, près de Prato. Elle a été étudiée par Savi et plus récemment par M. Antonio d'Achiardi (1); de plus l'analyse de son feldspath, qui est hydraté et offre un éclat gras comme la saussurite, a été faite par M. Fr. Stagi :

SiO^2	Al^2O^3	CaO	NaO	Perte au feu.	Somme.
49,3	29,0	9.1	7,8	4,5	99,7

La composition de ce feldspath du granitone est à peu près celle de la Vosgite du porphyre de Ternuay (2). Seulement, comme tous les feldspaths contiennent les deux alcalis, dans l'analyse précédente, la potasse aura sans doute été dosée avec la soude.

Hypérite.

D'après M. le professeur Schéerer, le labrador et la pierre du soleil doivent leur chatoiement à des cristaux microscopiques, et suivant M. Kosmann (3), il en serait de même pour l'hypersthène. Toujours est-il qu'on y distingue au microscope des lamelles brunes, transparentes, qui sont orientées, partie perpendiculairement à l'axe principal, partie parallèlement à cet axe. Elles ne sont pas attaquées par les acides, ni altérées par la chaleur; de plus, M. Kosmann a constaté l'existence d'un peu de titane dans l'hypersthène; il en conclut que ces lamelles sont vraisemblablement formées par des cristaux extrêmement minces de Brookite, et c'est d'ailleurs ce que l'observation microscropique sous un fort grossissement paraîtrait confirmer.

Mélaphyre.

Riesengebirge. — Dans son étude sur les roches porphyriques de l'Autriche, M. Tschermak (4) donne la composition chimique

(1) *R. Comitato geologico d'Italia*. 1871, 279.
(2) Delesse : *Annal. des Mines* [4] tome XVI.
(3) *Deutsche G. Gesellschaft* : XXIII, 471.
(4) *Die Porphyrgesteine Oesterreichs*. Vienne, 1869, 87.

d'un assez grand nombre de mélaphyres, d'après les analyses de plusieurs savants et d'après celles qu'il a faites lui-même. Les mélaphyres qui ont été examinés provenaient du versant sud du Riesengebirge ainsi que du bassin de Waldenburg :

A. Johannisberg (de Richthofen).
B. Hockenberg (Jenzsch).
C. Stransko (Werther).
D. Landeshut (de Richthofen).
E. Poric (Werther).
F. Stransko (Mikula).
G. Benesow (Mikula).
H. Kozinetz (Tschermak).
I. Hrabacow (Werther)
J. Stransko (Hayek).
K. Zderetz (Merkel).
L. Bistra (Strommer).
M. Tabor (Werther.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	PO^5	Somme.
A	»	57,82	17,53	»	8,43	10,53	0,65	»	»	»	»	94,96
B	»	56,52	13,53	»	12,56	5,31	2,79	3,59	3,71	0,81	0,70	99,52
C	»	56,20	15,26	7,74	5,09	9,50	3,21	0,62	2,70	»	»	100,32
D	»	54,58	18,92	»	10,87	7,17	1,15	»	»	2,11	1,12	95,92
E	»	54,14	18,06	3,12	5,87	5.20	3,80	1,44	2,25	6,35	»	100,23
F	2.842	53,18	18,43	6,46	3,46	6,85	4,55	2,56	3,05	1,98	»	100,52
G	2.720	52,75	17,26	4,40	5,34	7,01	4,88	1,60	3,56	3,23	»	100,03
H	2.830	52,34	16,88	8,51	3,31	7,74	5,40	1,05	3,10	2,10	»	99,43
I	»	51,98	16,27	4,38	8,24	7,34	5,85	3,30	1,20	2,71	»	101,27
J	2.859	51,73	15,30	10,56	3,38	6,61	3,20	1,37	2,14	4,85	0,40	99,54
K	2.773	51,02	18,86	6,57	4,68	7,36	5,57	2,10	2,54	2,86	CO^2	101,56
L	2.772	51,00	18,04	6,20	2,37	9,26	3,99	1,05	1,99	4.17	0,77	98,84
M	«	49,97	15,64	6,40	6,03	8,60	4,85	3,81	1,75	2,03	»	99,08

Le tableau précédent, dans lequel les mélaphyres du Riesengebirge ont été ordonnés d'après leur teneur en silice, montre que cette teneur varie habituellement de 50 à 56 p. 100.

Quand elle devient plus grande, ils appartiennent aux porphyrites. Généralement ils sont à grain fin ou bien compactes. Lorsque leur grain devient grossier, on leur donne le nom de *diabase*. Ils sont fréquemment accompagnés de spilites ou d'amygdaloïdes (Mandelstein) et assez rarement de tufs.

De nombreux minéraux ont été observés dans les amygdaloïdes ; ce sont la chaux carbonatée, la dolomie, la baryte sulfatée, l'analcime, la chabasie, la stilbite, le steinmark, le quartz et ses variétés, notamment l'améthyste, la calcédoine, le cacholong, le jaspe ; il y a en outre de la delessite, de la chlorophœite, du fer oligiste, de l'hématite brune et rouge, du bitume. Les minéraux les plus fréquents sont surtout la chaux carbonatée, la delessite et le quartz. Nous pensons d'ailleurs que ces divers minéraux ne sont pas des produits postérieurs d'altération et de décomposition du mélaphyre, comme on l'admet assez généralement en Allemagne.

En ce qui concerne leur gisement, les mélaphyres du Riesengebirge forment des amas, des mamelons isolés ou bien encore des nappes

et des filons. Tantôt ils sont intercalés dans les couches du Rothliegende, tantôt ils les recouvrent. Dans la Bohême, on peut distinguer quatre horizons de mélaphyres dans le Rothliegende.

TATRA. — M. Jean Höfer (1) a étudié les mélaphyres du Petit-Tatra qui, d'après MM. Stur et Stache, présentent des bancs parallèles dans les schistes de Werfen, appartenant à la base du trias :

A. Mélaphyre porphyrique, à pâte noire, violacée, contenant des cristaux de feldspath anorthose verdâtre, à éclat gras; provenant de Luczivna, Comitat Zipse. L'anorthose I*a*, ainsi que la pâte II*a* de ce même mélaphyre, ont été analysés séparément.

B. Mélaphyre de l'extrémité sud du Blumenthal, au nord de Grenitz, Comitat Zipse. Il est compacte, noir violacé, à cassure légèrement conchoïde, et l'on y distingue seulement de petites aiguilles feldspathiques.

C. Mélaphyre vert, cristallin; de la vallée Ipolticza, près Hoskowa.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	CO^2	HO.	Somme.	Rapport d'oxygène.
I*a*	2,633	53,26	24,28	»	2,96	6,83	0,56	2,47	4,68	»	3,98	99,02	0,556
II*a*	2,751	50,65	16,32	15,03	2,33	4,45	0,63	1,79	3,44	»	5,14	99,78	0,568
A	2,689	52,46	19,65	10,86	1,92	5,30	0,65	1,57	2,89	»	4,81	100,11	0,562
B	2,852	52,75	10,80	20,24	3,84	2,36	0,41	1,54	3,62	1,99	3,10	100,65	0,497
C	2,859	48,69	12,81	10.77	9,43	7,99	0,99	1,66	5,56	»	3,36	101,26	0,584

Constatons que les résultats trouvés par M. Höfer pour le mélaphyre de Luczivna viennent de nouveau confirmer ceux qui ont été obtenus, il y a plus de vingt-cinq ans, pour le mélaphyre de Belfahy, dans les Vosges (2).

Suivant M. Höfer, le feldspath formant la base du mélaphyre serait toujours de l'andésine. Toutefois, il nous paraît préférable de désigner d'une manière générale ce feldspath sous le nom d'anorthose; car, dans les mélaphyres comme dans les diorites et dans les euphotides, sa richesse en silice et sa composition chimique peuvent varier dans des limites assez étendues.

Spilite.

TATRA. — M. J. Höfer (3) a encore étudié les spilites et les mélaphyres amygdalins qui sont associés aux mélaphyres du Tatra :

(1) *Neues Jahrbuch*. 1871, 113.
(2) Delesse, *Annales des mines* [4] XII, 195.
(3) *Neues Jahrbuch*. 1871, 142.

A. Spilite type, ayant une couleur brun rouge, de Schwarzwaag.
B. Spilite de Nischne Chmeleniethale, près Svarin.

	Densité	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	CO^2	HO	Somme	Rapport d'oxygène
A	2,727	42,75	14,04	14,10	2,50	9,10	0,57	2,22	4,29	7,69	3,49	100,75	0,625
B	2,856	51,80	7,78	20,99	5,34	3,10	0,47	2,25	2,71	1,29	3,77	99,50	0,479

Les minéraux qui remplissent les amandes de ces spilites sont : la delessite et la terre verte, la chaux carbonatée, le mésitinspath ou chaux carbonatée ferrifère, la silice à l'état de quartz ayant généralement une couleur rougeâtre ou bien à l'état de calcédoine et d'opale, l'épidote pistazite, la heulandite, un peu de pyrite de cuivre et quelquefois de la malachite.

Se basant sur les passages minéralogiques qui s'observent entre le mélaphyre et le spilite, M. Höfer admet, avec MM. C. Bischof et Streng, que le spilite provient d'une décomposition du mélaphyre par des infiltrations. Ainsi que nous avons eu l'occasion de le faire remarquer à différentes reprises, il nous paraît au contraire que le spilite est bien une roche originaire qui contient de l'eau et des carbonates depuis l'époque de sa formation (1).

Roches feldspathiques volcaniques.

Néphéline dans les roches volcaniques.

Par l'examen microscopique de plaques polies, très-minces, M. Zirkel (2) a constaté l'existence de petits cristaux de néphéline dans diverses roches volcaniques. Il en a mentionné particulièrement dans le trachyte du Drachenfels, de Perlenhardt, du Cantal, dans celui du Puy-de-Dôme, dans beaucoup de trachytes et d'andésites de Hongrie et de Transylvanie, ainsi que dans la dolérite du Löwenburg et dans les basaltes.

Trachyte.

Mont Dore. — M. A. de Lasaulx (3) a examiné plusieurs trachytes des Monts Dore :

A. Trachyte de Durbize, formant une nappe puissante qui recouvre le conglomérat trachytique, sur le plateau, à l'est de la vallée de la Dordogne. Il ressemble aux laves de Volvic et de Pariou qui seront décrites plus loin.

(1) Delesse, *Origine des roches éruptives.* (*Bull. de la soc. géol.*, 1858, p. 722).
(2) Naumann: *Lehrbuch der Geognosie*, III, 357, 2e édition.
(3) *Neues Jahrbuch.* 1871, 673.

On distingue dans sa pâte grise, de l'oligoclase vitreux et aussi un peu de sanidine, de l'hornblende, du fer titané, de l'augite, du sphène.

B. Trachyte de Rigolet-Haut, s'étendant en nappe sur le plateau à l'ouest de la vallée de la Dordogne. On y observe de l'anorthose et de l'hornblende, ainsi que du fer oxydulé, de l'augite, du mica et un peu de sphène. Quelquefois il y a en outre du tridymite ou de la silice volcanique. Pour les lithologistes allemands, cette roche ainsi que la précédente appartiennent à l'andésite amphibolique.

C. Trachyte du Puy-du-Capucin. Il est plus ou moins poreux, à couleur claire et jaunâtre. On y voit un feldspath paraissant kaolinisé, de l hornblende, du mica brun tombac, du fer oxydulé et dans les pores du tridymite. Par insufflation il donne l'odeur argileuse et son aspect rappelle le dômite. Ce trachyte, que Lecoq nommait granitoïde à petits grains, est à base de sanidine; il se rapproche de certains trachytes de la Hongrie (Roth : *Beiträge*, page XCII).

D. Trachyte amphibolifère de Lecoq, formant des blocs qui atteignent de très-grandes dimensions et proviennent d'éruptions ayant eu lieu dans les environs du Puy-du-Capucin et dans le val de la Cour. Il est gris, grenu, peu résistant, contient très-peu de pâte et est constitué presqu'entièrement par le feldspath sanidine et l'hornblende. Sous un grossissement de 900 fois, on y aperçoit des cristallites. Sa composition le rapproche du trachyte de Ténérife décrit par MM. Fritsch et Reiss.

	Densité	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	NaO	KO	HO	TiO^2	Somme	Rapport d'oxygène
A	2,63	53,33	18,21	9,87	7,56	3,50	5,24	3,42	0,45	»	101,58	0,57
B	2,63	54,42	18,31	8,52	6,91	3,42	5,55	2,61	0,58	traces	100,32	0,56
C	2,59	58,34	18,14	10,03	3,94	2,31	3,83	3,02	0,72	»	100,33	0,48
										FeO		
D	2,62	56,01	18,92	9,80	5,96		3,30	5,63	0,65	0,33	100,60	0,52

BOLSENA. — Le lac de Bolsena, dans l'Italie centrale, occupe le fond d'un cratère qui est le plus grand que l'on connaisse en Europe. Sa circonférence est d'environ 22 milles géographiques et, celle des montagnes qui l'entourent, s'élève au moins à 32. Toute la contrée montre des tufs analogues à ceux de la Campagne romaine, des trachytes vitreux et des laves amphigéniques qui appartiennent à la formation volcanique la plus récente de cette partie de l'Italie. On doit à M. vom Rath (1) d'avoir fait l'étude de ces différentes roches, particulièrement celle des trachytes :

A. Trachyte de Bolsena.

B. Trachyte amphigénique de Viterbe, nommé *petrisco* dans le pays. Sa pâte est compacte, gris bleuâtre, contient des cristaux d'amphigène et de sanidine, de l'augite noir verdâtre, du mica, du fer oxydulé et plus rare-

---

(1) *Zeitschrift d. d. geol. Gesellschaft.*

ment du sphène. Les nombreuses cavités de la roche sont tapissées de néphéline et d'aiguilles de breislakite.

C. Trachyte du versant oriental des collines Cimini. Sa pâte est granulaire, fine, avec cristaux blancs de sanidine, mica noir, cristaux gris paraissant être de l'augite et peridot jaunâtre, très-abondant, mais en grains microscopiques.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	2,548	59,22	18.56	6,06	2,96	1,12	6,66	4.87	1,14	100,59
B	2,603	59,51	18,89	5,26	1,90	1,50	7,25	4,60	0,56*	99,35
C	2,765	58,67	15,07	8,35	8,07	2,97	3,50	3,36	0,82	100.81

* Traces de manganèse et 0,48 de chlorure de sodium.

Ces trachytes ont une faible teneur en silice et le dernier, qui se rapproche de l'andésite, est remarquable par l'association exceptionnelle du péridot au feldspath sanidine.

HONGRIE. — L'ordre de succession des trachytes a été étudié par M. J. Szabo (1) dans le massif montagneux des Matra, dans la Hongrie centrale. 1° Le trachyte le plus ancien est à base d'andésine ou d'oligoclase; il ne contient pas d'amphibole et forme les plus hauts sommets; 2° ensuite vient le trachyte avec quartz ou Rhyolithe; 3° puis le Trachydolérite: 4° enfin le *Matraite* ou trachyte amphibolique, à base d'anorthite, qui constitue la roche éruptive la plus moderne des Matra.

Trachyte ponceux.

MONT DORE. — On trouve au Mont Dore des blocs, rejetés par les éruptions volcaniques de cette région, qui appartiennent à un trachyte ponceux ou à la pumite porphyroïde de Brongniart. Dans le ravin des Égravats, ils forment même une couche qui est recouverte par le tuf trachytique. Cette roche contient des cristaux bien distincts de sanidine ainsi que d'hornblende et son étude a été faite par M. A. de Lasaulx (2). Au microscope, M. de Lasaulx a constaté que son feldspath renferme des cristallites, tandis qu'il n'y en a pas dans la pâte qui est vitreuse, comme l'obsidienne, et dont la structure fluide est d'ailleurs bien accusée, soit par des veines ondulées de pores, soit par des cellules allongées.

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MgO	CaO	KO	NaO	HO	Somme.	RAPPORT d'oxygène.
2,491	64,29	17,02	3,55	0,93	3,45	4,52	4,82	1,25	99,83	0,33

(1) *Neues Jahrbuch*; 1871, 94. *K. K. geol.* R. A. 1869.
(2) *Neues Jahrbuch.* 1871, 673.

Rétinite.

ARRAN. — M. Allport (1) a examiné au microscope les rétinites de l'île d'Arran. Ces rétinites sont composés d'une pâte vitreuse dans laquelle sont disséminés des cristaux, les uns microscopiques, les autres beaucoup plus grands. Les cristaux microscopiques sont, ou bien des granules arrondis, ou des prismes aciculaires; suivant M. Allport, ces prismes sont généralement formés par de minces aiguilles de pyroxène auxquelles sont attachés d'innombrables cristaux plus petits, groupés à la manière des frondes de fougères : dans ce cas, la portion de la pâte vitreuse qui les entoure se montre décolorée.

La pâte de ces rétinites contient aussi des cristaux de feldspath, de quartz et d'augite : il y a deux feldspaths, que l'action de la lumière polarisée permet de distinguer, savoir l'orthose et un anorthose : l'orthose paraît d'ailleurs appartenir à la variété vitreuse nommée sanidine. Le quartz est transparent, à contours généralement arrondis et présente des cavités soit à l'intérieur, soit vers l'extérieur : il est à remarquer que ce caractère se retrouve dans les porphyres quartzifères, tandis qu'on ne l'observe pas dans le quartz des granites.

Quant à la détermination de l'augite, M. Allport la base sur ce que le minéral verdâtre des rétinites d'Arran, généralement appelé hornblende par les auteurs, n'offre pas la moindre trace de dichroïsme; or, il résulte d'observations faites par M. Des Cloizeaux que l'hornblende jouit très-fortement du dichroïsme qui disparaît, ou bien devient à peine sensible, dans l'augite des roches volcaniques; en sorte que ce minéral ne doit pas être de l'hornblende. De plus, M. Allport a réussi à trouver dans ses échantillons un cristal, susceptible d'une mesure précise au goniomètre, et les nombres qu'il a obtenus sont d'accord avec ceux qui caractérisent l'augite.

Andésite.

MACSKA. — Sur le bord sud de la région trachytique de Schemnitz, on trouve une roche présentant une structure prismatique bien caractérisée et qu'on a désignée sous le nom, tantôt de basalte, tantôt de trachyte semi-vitreux. Son analyse a été faite par M. Ch. de Hauër (2) :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	Perte au feu.	Somme.
61,70	14,00	6,15	6,47	2,65	1,45	6,10	2,09	100,61

(1) *Geol. Mag.* IX, 1.
(2) *Verhandl. der geolog. Reichsanstalt.* 1870, 337.

Comme l'observe M. de Hauër, cette roche est une andésite et elle appartient aux trachytes les plus récents de la Hongrie.

Dolérite.

SABABURG. — La dolérite de Sababurg, dans la Hesse, a été examinée au microscope et analysée par M. H. Möhl (1). Elle est gris noirâtre, à cassure légèrement conchoïde, et se divise en prismes. A l'aide du microscope, on distingue dans sa pâte beaucoup de cristaux de labrador, de l'augite et des trichites. Dans ces cristaux, il y a des pores produits par la vapeur ainsi que des enclaves vitreuses. Avec la loupe simple, on reconnaît quelquefois des petits grains de péridot, de la néphéline, du fer titané ainsi que beaucoup de fer oxydulé. Enfin des aiguilles d'apatite s'observent encore dans les cavités de cette roche dont nous donnons ici la composition :

SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	PO^5	HO	Somme.
54,62	1,26	16,42	3,92	7,88	0,33	7,23	2,08	1,35	4.23	0,83	1,24	101,39

Basalte.

Du saphir et même du rubis ont été rencontrés dans le terrain de transport de l'État de Victoria, en Australie, particulièrement dans les sables aurifères des environs de Beechworth; MM. Ulrich et Selwyn pensent que ces gemmes proviennent de la destruction du basalte, car elles s'observent toujours dans son voisinage.

— Plusieurs minéralogistes ont étudié les roches basaltiques au microscope.

D'abord M. Möhl (2) a reconnu la présence de la Haüyne dans le basalte du district d'Annaberg, et l'on se rappelle que le même minéral avait déjà été signalé dans l'amphigénite par M. Zirkel.

M. Allport (3) a examiné de son côté les basaltes et des roches auxquelles il donne le nom de mélaphyres : selon lui, il n'y aurait aucune différence, soit au point de vue de la composition, soit au point de vue de la structure, entre les mélaphyres anciens et les basaltes tertiaires. De plus, il croit avoir constaté, dans les mélaphyres des comtés du centre de l'Angleterre et dans ceux de l'Écosse, la présence invariable du péridot. M. Allport émet donc l'opinion que les roches volcaniques ont toujours eu la même com-

(1) Cassel. 1871.
(2) *Isis*. 1872.
(3) *Geol. Mag*. VIII, 449.

position, aux diverses périodes géologiques; il pense en outre que les différences qu'elles présentent aujourd'hui résultent uniquement des altérations et des modifications qu'elles ont éprouvées, ou bien de l'action plus ou moins prolongée du métamorphisme.

Les roches basaltiques ont surtout été étudiées avec beaucoup de soin au microscope par M. le professeur Zirkel (1). Leur masse n'est pas entièrement cristalline, mais on y distingue un ciment de nature vitreuse ou semi-vitreuse; ce dernier se montre habituellement comme une substance brun jaunâtre, à réfraction simple, dans laquelle on voit, à l'aide d'un Nicol croisé, de nombreux cristaux montrant les belles couleurs dues à la polarisation.

D'après la composition que les roches basaltiques présentent sous le microscope, M. Zirkel y a établi trois divisions: 1° le basalte feldspathique; 2° le basalte amphigénique; 3° le basalte néphélinique.

1° Le *basalte feldspathique* est ordinairement sans amphigène, mais renferme souvent un peu de néphéline.

Il est composé d'anorthose, qui est son minéral dominant, et qui est associé à l'argile; toujours il contient du fer oxydulé et du fer titané, presque toujours aussi du péridot, souvent un peu de néphéline; mais le plus souvent il n'a pas d'amphigène, pas d'haüyne, pas de mélilithe. On peut en distinguer quatre espèces, basées sur les différences que leur structure montre sous le microscope.

A. Basalte feldspathique, *à structure grenue*, *bien égale*. Il s'observe dans les Sept Montagnes et comprend beaucoup de dolérites, particulièrement celle du Lœwenburg qui est classique. Il comprend aussi beaucoup de basaltes de l'Écosse et des Hébrides (Arthurs-Seat, Grotte de Fingal), et de plus un grand nombre de laves de l'Auvergne.

B. Basalte feldspathique, *à structure cristalline et porphyrique*. Cette structure microscopique, qui est bien plus rare, se distingue, en ce que de gros cristaux, généralement feldspathiques, se sont développés dans une pâte fine, grenue, dans laquelle on n'aperçoit pas de ciment vitreux. Comme exemple, M. Zirkel mentionne le basalte du Jungfernberg dans les Sept Montagnes, celui de Funchal, et il y joint la lave du Puy de Pariou.

C. Basalte feldspathique, *à structure cristalline et vitreuse*. Sa pâte entièrement vitreuse contient des éléments cristallins. Tel est le basalte d'Elfershausen, dans la Hesse.

---

(1) Ch. Naumann. *Lehrbuch der Geognosie*, III, 453. — Zirkel. *Mikroscopische Zusammensetzung und Structur der Basaltigesteine*. Bonn, 1870.

D. Basalte feldspathique, *à pâte cristalline plus ou moins dévitrifiée.* Comme exemples, on peut citer le basalte de Dunglass en Écosse, ainsi que les anamésites de Hanau, de l'Islande, de l'Écosse, des Hébrides, des Feroë, dont la structure est caractérisée par une pâte, presque complétement dévitrifiée, dans laquelle domine le feldspath, tandis que le péridot et souvent aussi l'augite deviennent plus rares.

2° *Basalte amphigénique.* Il est essentiellement constitué par de l'amphigène, de l'augite, du péridot et du fer oxydulé, avec plus ou moins de néphéline. Habituellement il est complétement exempt de feldspath ; mais il contient souvent du mica en paillettes microscopiques et quelquefois aussi de la mélilithe. Sa structure est grenue, microscopique, sans mélange d'une substance vitreuse.

De belles variétés de ce basalte amphigénique s'observent dans le Rhön, à Stoffelskuppe près d'Eisenach, à Stolpen en Saxe ; et M. Zirkel y comprend d'ailleurs les laves basaltiques des environs du lac de Laach et du Kammerbühl.

3° *Basalte néphélinique.* Il est plus fréquent que le basalte amphigénique et se compose essentiellement de néphéline, d'augite, de péridot et de fer oxydulé, indépendamment desquels il y a plus ou moins d'amphigène, rarement un peu de feldspath, ainsi que du mica et de la mélilithe. De plus, généralement sa structure est grenue, microscopique, sans mélange de parties vitreuses ou semi-vitreuses. Parmi les variétés les plus remarquables de basalte néphélinique, on peut mentionner celui de Pflasterkante près Marksuhl, de Spechthausen près Tharandt, de Katzenbuckel dans l'Odenwald, de Löbau, ainsi que plusieurs laves du lac de Laach.

Malgré tout l'intérêt qu'offre l'étude microscopique des roches, il importe d'observer que la classification nouvelle proposée par M. Zirkel pour le basalte ne laisse pas que de présenter quelques inconvénients assez graves.

D'abord, elle étend ce nom de basalte à des roches auxquelles les géologues ne l'ont jamais appliqué jusqu'à présent ; elle confond cette roche avec certaines laves anhydres, telles que celles de l'Auvergne, qui en sont cependant bien distinctes ; elle exige des recherches spéciales et minutieuses avec le microscope ; enfin elle ne tient pas compte de la présence de l'eau, des carbonates, des zéolithes qui caractérisent éminemment le basalte proprement dit ainsi que l'anamésite, et qui ne sauraient être considérés comme de simples produits de décomposition (1).

(1) Delesse. *Recherches sur l'origine des roches.* 2e édition, Savy, 1865.

Tachylite.

SABABURG. — Le nom de *tachylite* a été donné à une sorte de basalte dont la pâte est essentiellement vitreuse. M. H. Möhl (1), qui a étudié des variétés de cette roche provenant de Sababurg, dans la Hesse, indique une cassure bien conchoïde et une couleur d'un noir foncé. Au microscope, il a constaté qu'elle est formée par un verre brun, bien homogène, traversé par des aiguilles d'anorthose et dans lequel on distingue aussi des pores produits par la vapeur. Voici quelle est sa composition :

SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	Cao	MgO	KO	NaO	PO^5	HO	Somme.
54,93	0,28	19,36	3,68	6,48	0,06	6,27	2,16	0,73	3,14	0,04	2,16	99,29

M. H. Möhl a encore examiné des *tachylites* venant de Bobenhausen dans le Vogelsgebirge, de Gethürms, de Säsebuhl, d'Ostheim dans la Wetteravie, de Schieffenburg près Giessen, ainsi que des environs de Cassel et de Minden.

Du reste, ces roches vitreuses forment habituellement des nodules ou des veines dans les tufs, dans les basaltes, dans les dolérites; nous ferons aussi remarquer, qu'en Auvergne, elles s'observent souvent à la base des coulées et des nappes basaltiques, ou bien encore à la salebande des filons de basalte.

Amphigénite.

BOLSENA. — Le leucitophyre ou amphigénite de Bolsena, qui appartient à la formation volcanique la plus récente, a été analysé par Mr vom Rath (2). Sa densité est 2,501.

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3,FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
55,10	19,20	6,86	3,75	1,18	10,78	2,68	1,22	100,77

VÉSUVE. — Une lave amphigénique, rejetée par le Vésuve, a encore été analysée à l'Institut géologique de Vienne (3). Elle provenait de l'éruption d'avril 1871, avait une couleur gris clair et une structure compacte. On y distinguait très-bien des petits grains d'amphigène.

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	Cl	Somme.
48,68	18,74	2,67	7,18	traces	10,24	3,04	6,46	2,47	0,17	99,65

Sa composition se rapproche de la moyenne donnée par M. le professeur C.-W.-C. Fuchs (4), pour les laves du Vésuve.

(1) Cassel, 1871.
(2) *Zeitschrift d. d. geol. Gesellschaft.*
(3) *K. K. geologische Reichsanstalt.* 1872
(4) *Revue de géologie*, IX, 66.

Laves.

Auvergne. — Plusieurs laves de l'Auvergne ont été étudiées par M. A. de Lasaulx (1).

A. Lave de Durtol, prise à la partie supérieure d'une coulée du Puy de Pariou; c'est celle que Brongniart a nommée *téphrine* compacte. Sa pâte contient des cristaux d'anorthose vitreux (oligoclase), de l'augite, quelques aiguilles d'hornblende, un peu de fer oxydulé. Sa composition la rapproche beaucoup de la lave du Puy de Côme, analysée par M. Kosmann, et M. de Lasaulx la considère comme un trachyte à base d'oligoclase avec sanidine.

B. Lave de la coulée du Puy de Pariou qui finit près de Fontmort, prise dans le haut du village de Villars. Elle est gris clair, poreuse, grenue, sans cristaux de feldspath ou d'augite qui soient visibles à l'œil nu. On y distingue bien de petites lamelles de mica; mais suivant M. de Lasaulx, elles paraissent se trouver exclusivement dans les cellules et non dans la pâte même de la roche. Sa composition la rapproche de la lave du Puy de Pariou qui a été analysée par M. Rammelsberg et qui contenait des cristaux de sanidine.

C. Lave prise près du Puy même de Pariou. Elle renferme beaucoup de sanidine et d'hornblende, indépendamment de l'oligoclase. Sa composition la rapproche complétement des véritables trachytes et, en particulier, elle ressemble à ceux de Rigolet-Haut et de Durbize dans les monts Dore.

D. Lave de Volvic ou du Puy de la Nugère, analogue à la précédente. Dans sa pâte, on distingue quelques cristaux de feldspath, notamment du sanidine et de l'hornblende. Au microscope, on reconnaît bien que ses pores sont tous étirés dans la direction de la coulée et que leurs parois sont souvent revêtues d'un enduit vitreux ou légèrement cristallin. C'est la variété de la lave de Volvic qu'on exploite sur une grande échelle pour les constructions, et que M. Kosmann avait déjà analysée précédemment.

E. Lave du Puy de Montchié. Sa couleur est foncée, grise ou brun rouge. Dans sa pâte, qui est poreuse, on voit beaucoup de petits cristaux d'hornblende et de feldspath. Ses cellules sont tapissées de sortes de grappes d'oxyde de fer. Dans certaines parties, ses cellules ont une structure filamenteuse qui rappelle la ponce. En examinant au microscope des tranches transparentes, on reconnaît, outre l'hornblende, un feldspath l'anorthose qui est probablement du labrador, du fer oxydulé, des cristallites. Cette lave de Montchié, bien qu'étant beaucoup plus pauvre en silice que les précédentes, est relativement riche en alcalis.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.	Rapport d'oxygène.
A	2,85	54,62	18,73	10,09	»	7,31	2,68	3,02	2,91	0,52	99,8[illegible]	0,56
B	2,69	57,51	16,83	10,40	»	6,54	1,89	2,21	3,86	0,43*	99,67	0,48
C	2,65	61,21	18,15	6,72	»	4,30	1,93	2,82	5,12	0,52	100,57	0,43
D	2,72	61,92	19,51	5,01	traces	4,28	1,20	2,51	5,63	0 32	100,38	0,43
E	2,82	52,31	17,83	13,63	0,29	6,11	3,68	2,46	3,41	0,25**	99.97	0,61

* Traces d'acides phosphorique et titanique. | ** Traces d'acide phosphorique.

(1) *Neues Jahrbuch*. 1871, 673.

RADICOFANI. — Une analyse d'une lave, grise et grenue de Radicofani, a été faite par Mr vom Rath (1).

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
55,00	14,38	9,29	8,51	7,72	2,52	2,25	0,48	100,15

L'examen de cette lave, à la lumière polarisée, a permis à M. Weiss d'y reconnaître de l'anorthose, du péridot et de l'augite.

Roches volcaniques clastiques.

Lapilli.

VÉSUVE. — L'Institut géologique de Vienne a étudié les lapilli rejetés par le Vésuve, lors de l'éruption d'avril 1871 (2). Recueillis dans le cratère principal, ces lapilli contenaient des cristaux distincts d'amphigène ainsi que d'augite; de plus, ils étaient revêtus d'une très-légère couche d'une substance blanche, complétement soluble dans l'eau et donnant une réaction acide :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	Oxyde magnétique.	MnO	SO^3	Cl	PO^5	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
30,67	19,51	5,54	1,45	0,23	15,80	2,14	0,26	7,25	1,41	6,11	3.32	6,65	100 34

Cendre.

PUY DE PARIOU. — Une cendre volcanique grise, du Puy de Pariou, a été analysée par M. A. de Lasaulx (3). On y distingue des débris d'augite et d'hornblende, du fer oxydulé, ainsi que des paillettes de mica et des grains bleus de haüyne; mais la partie feldspathique est la plus importante. Le microscope y fait voir aussi quelques cristallites et des enclaves formées de parcelles vitreuses, souvent avec pores ou avec des cavités produites par l'expansion de gaz.

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	Mn^2O^3	CaO	MgO	NaO	KO	Somme.	Rapport d'oxygène.
2,61	56,50	18,55	5,80	4,58	6,21	2,05	2,36	3,77	99,82	0,52

On a pour les rapports d'oxygène

$$SiO^2 : R^2O^3 : RO = 8 : 3 : 1.$$

Ces cendres sont remarquables par leur grande teneur en oxyde

(1) *R. Comitato geologico d'Italia.* 1871, 270. Antonio d'Achiardi.
(2) *K. K. geologische Reichsanstalt*, 1872.
(3) *Neues Jahrbuch.* 1871, 673.

de manganèse qui est bien supérieure à celle des laves de l'Auvergne et des autres pays. Lorsqu'elles se décomposent, elles se recouvrent d'ailleurs d'un enduit brun, formé d'hydroxyde de fer mélangé avec de l'hydroxyde et avec du peroxyde de manganèse.

ROCHES MÉTALLIFÈRES.

L'étude des roches métallifères est de la plus haute importance pour le mineur; mais les limites imposées à la *Revue de géologie* nous obligent à être très-concis sur ce sujet et à renvoyer aux publications périodiques spéciales.

Dans la description que nous allons donner des roches métallifères, nous les classerons d'après les métaux qu'elles renferment et en suivant autant que possible l'ordre géographique adopté dans cette *Revue*, c'est-à-dire en allant du nord au sud et de l'ouest vers l'est.

Fer.

Minerai des lacs.

FINLANDE. — Les eaux qui séjournent sur le sol imperméable et riche en fer de la Finlande déposent, dans ses nombreux lacs et marécages, des minerais d'une grande importance. Suivant M. Grothe (1), ces minerais sont formés de limonite, d'oxyde magnétique, d'hématite rouge et même de fer métallique. Le manganèse y fait rarement défaut; d'un autre côté, le soufre, l'arsenic et le phosphore y sont assez rares. De l'argile et de la chaux carbonatée en forment la gangue. Dans les usines de M. Putilow, voici entre quelles limites la composition de ces minerais de fer des lacs reste comprise :

	Fe	Fe^2O^3	Oxyde de manganèse.	Matières organiques.	S	P	Gangue.
Maximum .	72,63	71,00	18,40	27,38	traces	0,32	54,80
Moyenne. .	35,07	50,10	6,27	12,90	traces	traces	20,00
Minimum. .	1,7	2,42	»	»	traces	traces	3,10

Au lac Mehtalampi, on a constaté que le minerai varie beaucoup suivant les parties du lac dans lesquelles il a été pêché; car, sur le bord Méridional, il est quatre fois plus riche en fer que sur le bord Oriental.

(1) *Berg und Huettenmaennische Zeitung*. 1871, 174.

Minerai de fer en grains.

FRANCE. — M. Levallois (1) s'est occupé des minerais de fer en grains ou pisiformes, autrefois considérés comme des gîtes d'alluvión ou de transport. Après avoir montré que, sauf des cas particuliers, comme à Poissons, dans la Haute-Marne, ces minerais n'ont généralement subi aucun remaniement de date récente, M. Levallois rappelle que beaucoup d'entre eux ne sont pas exclusivement à fleur de sol, mais pénètrent souvent très-profondément à travers les anfractuosités des roches calcaires. De plus, ces gîtes, dont on croyait autrefois que le caractère essentiel était de n'être jamais recouverts, s'observent souvent au-dessous de couches stratifiées toujours tertiaires. L'étude de ces superpositions fait voir que les minerais en grains sont plus anciens que le miocène inférieur (comme par exemple en Berry), et qu'ils peuvent remonter jusqu'à l'époque des gypses, caractérisée par le Palœotherium, comme c'est le cas dans le Jura suisse, d'après les observations de MM. Quiquerez et Greppin, et dans la Côte-d'Or, d'après M. R. Tournouër.

Le mot, souvent employé, de *terrain sidérolithique*, s'applique à un ensemble de dépôts qui peuvent être éocènes ou miocènes.

Les limites entre lesquelles l'âge de ces dépôts peut osciller sont assez étroites, leur faune, leur manière d'être et la nature de leurs remplissages sont assez constantes pour que M. Grüner (2) croie convenable de conserver la dénomination de terrain sidérolithique pour désigner spécialement ce dépôt de minerais et d'argiles bariolées que l'on rencontre si souvent, le long des lignes de dislocation, entre les calcaires secondaires et le terrain miocène inférieur.

Toutefois, le terrain sidérolithique devant, selon toute vraisemblance, être considéré comme le produit de certaines sources minérales ferrugineuses, on conçoit qu'il ait pu se former à différentes époques géologiques.

Hématite.

SERIPHO. — En Grèce, l'île de Seripho présente, d'après M. Phocion Négris, des filons puissants de minerais de fer qui sont actuellement exploités par la Société Métallurgique Hellénique. Ils se composent essentiellement d'hématite, imprégnée de calcite

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 183.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 200.

et souvent très-manganésifère. Cette hématite est fréquemment accompagnée de fer spathique. On trouve aussi du fer oxydulé à Seripho, mais il est moins rapproché du rivage.

Les anciens ont pratiqué de nombreuses excavations dans les gîtes d'hématite, et l'on a pensé qu'ils pouvaient avoir spécialement exploité le manganèse qui leur était utile, comme l'on sait, pour préparer des couleurs servant à la décoration de leurs monuments.

—A Sipho, il existe également des minerais de fer qui se composent essentiellement d'hématite brune; toutefois ils sont moins abondants et moins compactes.

OHIO, — Des limonites appartenant à la partie inférieure du terrain houiller de l'Ohio ont été analysées par M. T. G. Wormley (1).

A. Au sud-ouest de Jackson. B. De la ferme Dutton, à Maxburg.
C. Des environs du haut-fourneau Vinton.

	Densité.	Résidu siliceux.	Fe^2O^3	Al^2O^3	Mn^2O^3	$3CaO,PO^5$	CaO,CO^2	$3MgO,PO^5$	MgO,CO^2	S	HO	Somme.
A	2,529	12,44	64,59	2,60	5,90	2,95	»	1,00	»	»	10,10	99,58
B	4,554	10,60	78,90	7,70	»	»	»	»	»	0,25	1,20	98,65
C	3,260	0,37	66,87	traces	2,92	7,81	12,62	»	1,47	traces	7,80	99,86

Ces minerais paraissent provenir de la décomposition du fer spathique. Ils contiennent généralement peu de soufre, mais beaucoup plus de phosphore; quelques-uns, tels que C, ont même dû être rejetés, parce qu'ils en renferment trop. La richesse moyenne en fer du minerai de l'Ohio, connu sous le nom de *Limestone ore*, est de 51 1/2 p. 100.

Plusieurs gîtes de limonite de l'Ohio fournissent un fer d'excellente qualité.

Fer carbonaté lithoïde.

OHIO. — M. Wormley (2) a encore fait un grand nombre d'analyses de minerais de fer carbonaté lithoïde, appartenant au terrain houiller inférieur de l'Ohio.

A. Station Gephart, minerai dans le conglomérat de schiste.
B. Fourneau Hope, compagnie Vinton (Gray limestone ore).

(1) *Geological Survey of Ohio*. 1870, 219.
(2) *Geological Survey of Ohio*. 1870, 221.

C. Fourneau Cambrix (Blue limestone ore).

D. Fourneau Washington (Brown limestone ore).

	Densité.	Résidu siliceux.	FeO,CO^2	Fe^2O^3	Al^2O^3	Mn^2O^3	$3CaO,PO^5$	CaO,CO^2	MgO,CO^2	S	HO	Somme.	Fer métallique.
A	3,321	14,60	42,58	10,50	1,50	traces	13,40	10,04	2,73	»	4,65	100,00	26.69
B	3,317	18,17	64,70	9,18	0,60	0,40	0,24	4.60	1,97	0,10	»	99,96	37,18
C	3,583	7,52	68,44	13,51	0,59	0,13	0,76	6,12	2,11	0,15	»	99.33	41,89
D	3,125	0,62	58,39	22,79	3,05	3,10	1,24	6,00	3,12	0,95	»	99,24	44,14

Ces minerais de fer carbonaté lithoïde de l'Ohio renferment généralement de l'acide phosphorique, et dans celui de la station Gephart, il y en a même une proportion exceptionnelle.

Pour la variété de ce minerai nommée *Blue siderite,* M. Wormley indique une richesse moyenne de 38 p. 100, tandis que pour le *Gray siderite*, elle est seulement de 35 1/2 p. 100.

Fer spathique et Hématite.

Soumah. — A Soumah, près d'Alger, des minerais de fer sont exploités par M. Firmin Dufour. D'après M. l'ingénieur en chef Ludovic Ville, qui les a étudiés, ils forment des filons qui ont habituellement quelques mètres de puissance ; ils consistent d'ailleurs soit en fer spathique, soit en hématite rouge ou brune, provenant de sa décomposition. Voici, d'après des analyses de M. Ch. Mène (1), quelle est la composition chimique de ces deux espèces de minerais :

A. Fer spathique de l'Oued-Bou-Chemla.

B. Hématite rouge, brunâtre et jaune du filon principal de l'Oued-el-Arbi-Hassein.

	FeO	Fe^2O^3	Oxyde de manganèse.	CO^2	Résidu insoluble et argile.	Eau et perte.	Somme.
A	60.08	1,90	0,09	37,15	0,47	0,31	100,00
B	»	91,98	0,02	»	0,71	7,29	100,00

La richesse en fer est à peu près de 48 p. 100 dans le premier minerai et de 64 p. 100 dans le second.

Les minerais de Soumah sont employés en France, en Belgique, en Angleterre, en Allemagne. Ils sont du reste analogues à ceux de la Bidassoa, dont nous avons donné la description précédemment (2).

(1) *Revue hebdomadaire de chimie scientifique et industrielle*, 1872.
(2) *Revue de géologie*, IX, 76.

Péridot (Hortonolite).

MONROE. — M. G. J. Brush (1) a signalé un péridot de Monroë (New-York) qui a quelquefois cristallisé dans les druses du fer oxydulé et qui est associé aussi à de la chaux carbonatée. Sa couleur varie du jaune au vert et au noir. Sa densité est 3,91. Il s'attaque avec gelée par les acides et son analyse a donné à M. W. G. Mixter :

SiO^2	FeO	MnO	MgO	CaO	KO	Perte au feu.	Somme.
33,52	44,28	4,72	16,79	traces	0,30	0,26	99,87

C'est bien un péridot, par sa composition et par sa forme cristalline ; mais il est essentiellement à base de fer : de plus il contient du manganèse, indépendamment de la magnésie, en sorte qu'il constitue une espèce minérale nouvelle pour laquelle M. Brush propose le nom d'*Hortonolite*. On voit qu'il est intermédiaire entre le péridot ordinaire et la fayalite. Son gisement est surtout intéressant à signaler, parce qu'il donne un nouvel exemple de péridot qui s'est formé dans des roches non volcaniques.

Chrôme.

GRÈCE.— Le fer chrômé se rencontre, en amas discontinus, dans la serpentine de Grèce dans laquelle on le recherche avec activité. Nous donnons ici la composition de deux échantillons de ce minerai qui ont été analysés sous la direction de M. Moissenet, au laboratoire de l'École des mines (2) :

A. De Keropotamo au nord de l'île de Nègrepont. On en a déjà extrait plus de 1,000 tonnes.

B. De Tinos.

	Cr^2O^3	Fe^2O^3	Al^2O^3	SiO^2	CaO	MgO	CoO	Somme.
A	56,70	15,46	12,11	10,00	5,50	traces	traces	99,77
B	55,00	19,25	11,15	5,70	5,00	3,79	traces	99,89

Cuivre.

LA PRUGNE. — Un riche gisement de cuivre vient d'être découvert près du bourg de la Prugne, et nous allons le faire connaître d'après des communications que nous devons à M. Eugène de Fourcy ainsi qu'à M. de Gouvenain, ingénieur des mines du département de l'Allier.

(1) *Jahresbericht der chemie* : 1869, 1207.

(2) Lettre de M. Négris.

Ce gisement se trouve à l'extrémité sud-est du département, dans les montagnes du Forez, sur la rive droite de la Bèbre, affluent de la Loire. La vallée, qui y conduit, est encaissée et très-profonde; son sol est granitique, mais offre çà et là quelques lambeaux de terrain de transition, avec des porphyres quartzifères. En 1869, un puits percé sur des affleurements, qui avaient été mis à jour par la charrue, a fait reconnaître un amas de phillipsite (cuivre panaché) d'une pureté extrême, sans autre mélange que quelques parties de pyrite cuivreuse. Cet amas qui est dirigé du N.-N.-E. au S.-S.-O., présente une forme ellipsoïdale; il a environ 30 mètres de long sur 15 mètres de large et 35 mètres de haut. Au delà de ce premier gîte, la galerie de recherche était tombée dans les porphyres et ne les avait plus quittés, sur un parcours d'environ 25 mètres, lorsqu'elle a subitement rencontré un second amas de phillipsite qui annonce aussi une grande richesse. Les deux amas se font suite et plongent de 60 degrés vers l'ouest.

L'analyse du minerai a été faite par M. de Gouvenain. Débarrassé de sa gangue, il contient 60 p. 100 de cuivre et sa formule est bien celle de la phillipsite $FeS + 2Cu^2S$; il ne renferme d'ailleurs ni arsenic, ni antimoine.

Le minerai est accompagné d'une gangue silicatée ferrugineuse qui a été également examinée par M. de Gouvenain. Elle est formée de lamelles cristallines, grenues, de couleur vert-noirâtre, qui sont tendres et se laissent facilement désagréger. Sa densité s'élèverait à 4,13. Elle est très-magnétique et fond aisément au chalumeau en donnant une scorie noire un peu bulleuse. L'acide chlorhydrique l'attaque complètement, et un essai a montré qu'elle contient environ : silice 20, peroxyde de fer 37, protoxyde fer 26, alumine et un peu de manganèse 10, magnésie 2, chaux 2. eau 3; somme 100. Cette gangue est donc un hydrosilicate, très-riche en fer et très-pauvre en silice, dont il serait désirable d'avoir une analyse plus complète et faite surtout sur de la matière bien pure; elle paraît analogue à la thuringite, à la chamoisite et aux silicates à base de fer qu'on a observés dans différents gîtes métallifères qui ont été soumis au métamorphisme, notamment dans ceux de la Scandinavie (1).

A la mine de la Prugne, le premier amas de phillipsite pourra fournir 4.000 mètres cubes, soit 20.000 tonnes de minerai qui, à la teneur moyenne de 15 p. 100 de cuivre, renfermeraient 3.000 tonnes de métal. Malheureusement, le prix du transport du

(1) *Revue de géologie*, IX, pages 75 et 76.

minerai jusqu'à la station du chemin de fer, atteint le prix élevé de 0f,52 par tonne et par kilomètre; en sorte qu'on ne peut utiliser jusqu'à présent que le minerai contenant environ 12 p. 100 de cuivre.

On voit toutefois que les recherches de la Prugne ont amené l'une des plus belles découvertes de minerais métalliques qui aient été faites depuis longtemps, sur le territoire français.

Libiola. — De la pyrite cuivreuse est exploitée à la mine de Libiola près de Sestri Levante (Spezzia).

D'après M. l'ingénieur italien Signorile (1), elle forme des amas irréguliers dans une euphotide serpentineuse. A la pyrite de cuivre est associée de la pyrite de fer qui devient même prédominante dans certaines parties. Comme d'habitude, ces amas de pyrite sont recouverts par un *chapeau de fer*. L'un d'eux, qui est exploité maintenant, mesure 12 mètres de hauteur sur 25 mètres de longueur. La richesse en cuivre du minerai lavé est comprise entre 6 et 7 p. 100.

Thelemark. — M. P. Herter (2) a étudié les fahlbandes, ainsi que les filons cuprifères qui se trouvent dans les schistes azoïques anciens du Thelemark, en Norwége (3). Déjà ces schistes ont fait l'objet de nombreuses recherches, dues notamment à MM. Tellef Dahll, Kjerulf, Schéerer, Hjortdahl, Andresen.

Dans la théorie que M. P. Herter donne pour expliquer la formation des gîtes métallifères du Thelemark, le gneiss granitique ne peut avoir amené le cuivre; car, en fait de métaux, on n'y rencontre guère que le molybdène sulfuré et très-accidentellement le bismuth ou le bismuth sulfuré. Au contraire, le minerai de cuivre se montre surtout dans les schistes quartzeux du Thelemark.

D'après cela, M. Herter exprime l'avis que ces schistes se sont d'abord déposés avec une faible teneur en métal; puis qu'ils ont été soumis à une forte pression et délavés par des eaux chaudes, sulfureuses, qui ont dissous la silice et le cuivre, pour les concentrer dans des cavités ou des fissures, à l'état de quartz et de minerais sulfurés de cuivre.

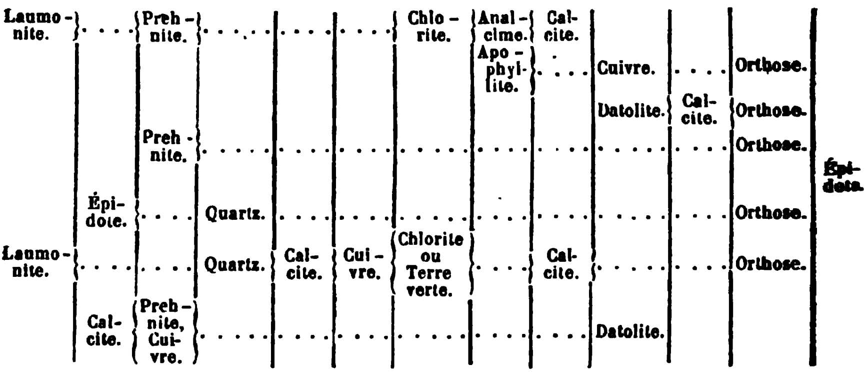
Les zéolithes, comme la desmine et la natrolite, qui s'observent aussi dans ces gîtes, seraient d'ailleurs, selon M. Herter, de formation postérieure et indépendante; en outre elles ont elles-

(1) Mémoire italien traduit par M. G. Pereyra, ancien élève de l'École des Mines.
(2) *Deutsche geol. Ges.* XXIII, 377.
(3) *Revue de géologie*, I, 112.

mêmes été recouvertes par la malachite et par les divers produits résultant de la décomposition des minerais de cuivre.

Lac Supérieur. — Les masses de cuivre natif du Lac Supérieur atteignent quelquefois des dimensions vraiment extraordinaires; car suivant M. Credner (1), dans le filon de la mine du Phœnix, l'une de ces masses, contenant deux tiers de cuivre pur, mesure environ 22 mètres de longueur sur 11 mètres de hauteur et 0m,65 d'épaisseur.

— M. R. Pumpelly (2) a fait une étude détaillée des gîtes de cuivre du Lac Supérieur, en s'occupant surtout de leur formation (*Paragenesis* du professeur A. Breithaupt). Dans ces gîtes, les minéraux ont présenté les successions et les alternances suivantes :



Lorsque le cuivre est associé à la calcite, il est souvent impossible de distinguer leur âge relatif et, par le fait, il peut arriver tantôt que le cuivre ait précédé les cristaux de calcite, tantôt qu'il les ait recouverts ou même qu'il les ait pénétrés et en quelque sorte pseudomorphosés.

Le cuivre et l'argent sont en contact intime, sans cependant être aucunement alliés; mais jusqu'à présent, nul échantillon n'a fourni des renseignements précis sur l'âge relatif de ces deux métaux.

M. Pumpelly a encore cherché à expliquer les réactions qui ont donné naissance aux minéraux des gîtes cuprifères.

---

(1) *Berg und Hüt. Zeitung*. 1872.
(2) *American Journal* [3] II, 188.

L'examen des cavités et des amygdaloïdes, montre d'une manière bien évidente qu'il s'y est formé d'abord des silicates non-alcalins, la laumonite, la prehnite, l'épidote; puis est venu le quartz. Quant au cuivre, il paraît être en relation intime avec la terre verte, la delessite, l'épidote, c'est-à-dire avec des silicates contenant une forte proportion de peroxyde de fer, comme si sa réduction avait eu lieu aux dépens de l'oxydation de ce dernier. D'un autre côté, l'analcime, la laumonite, la datholite et surtout la prehnite sont également associées au cuivre.

La calcite, qui se retrouve à différentes périodes dans ces gîtes cuprifères, paraît du reste indiquer que leur formation a eu lieu en présence d'eaux contenant de l'acide carbonique.

Afrique méridionale. — Le cuivre est bien connu et même exploité dans plusieurs districts de l'Afrique méridionale et, d'après M. Griesbach (1), on l'a trouvé aussi à Natal; toutefois, jusqu'à présent il n'y est pas exploité. Dans les montagnes Insiswa, dans la Cafrerie, il paraît associé à un greenstone qui est orienté du nord au sud.

Plomb.

Schneeberg. — Dans le Tyrol, près de Sterzing, le Schneeberg était, il y a quelques siècles, le siége d'exploitations importantes, et des recherches entreprises, dans ces derniers temps, sous la direction de M. C. de Beust (2) viennent d'y faire découvrir des gîtes d'une grande puissance. Ces gîtes consistent en sulfures métalliques, formant un mélange compacte, encaissé dans un micaschiste et parallèle à sa schistosité.

Le minerai est constitué par une galène pauvre, associée à de la blende, qui est même de beaucoup le sulfure dominant. Çà et là, l'on observe des pyrites de cuivre et de fer, quelquefois aussi du fer oxydulé. Les gangues sont l'ankérite, le fer spathique, l'amianthe et le grenat. Dans plusieurs endroits, les gîtes du Schneeberg présentent des amas métallifères dont l'épaisseur est comprise entre 4 et 10 mètres.

Antiparos. — D'après des renseignements qui nous ont été transmis par M. Phocion Négris, la Société Métallurgique Hellénique a rencontré à Antiparos un filon de plomb dans un

(1) *Quart. J. Geological Society.* Mai, 1871.
(2) *Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanstalt.* 1870, 505.

terrain qui paraît être le même qu'au Laurium. Ce filon a 2 mètres de puissance, et présente dans sa partie médiane de la galène pure sur une épaisseur d'environ $0^m,20$. Un essai fait au laboratoire de l'École des mines de Paris, a montré que ce minerai fournit au quintal 39 kilogrammes de plomb, dont la teneur en argent est de 82 grammes pour 100 kilogrammes ; du reste, il y a aussi des traces de zinc et d'antimoine.

UTAH. — La mine Emma qui se trouve dans l'Utah, à plus de 2.800 mètres de hauteur, est l'une des plus remarquables que l'on connaisse : en effet, d'après M. W. P. Blake (1), le minerai qui en a été extrait pendant un peu plus d'une année représente au moins 2 millions de dollars.

Ce minerai est d'ailleurs d'aspect terreux et provient de la décomposition d'une galène argentifère. Outre du plomb carbonaté, on y observe généralement des mélanges d'oxydes de plomb et d'antimoine. Il forme un amas intercalé dans des couches calcaires, reposant sur des schistes et des quartzites au-dessous desquels se montre un granite syénitique.

Or.

NATAL. — Le grès qui forme les montagnes de la Table, à la colonie de Natal, près le cap de Bonne-Espérance, est quelquefois couronné par un trapp ou greenstone, offrant une structure prismatique, dans lequel M. Griesbach (2), a observé de petites parcelles d'or. Cette roche éruptive empâte de plus des fragments de quartz, de granite et de gneiss.

A la colonie de Natal, M. Griesbach indique également des traces d'or dans les filons de quartz, qui traversent le granite et les schistes cristallins.

NOUVELLE-ÉCOSSE. — Différentes recherches sur les gîtes aurifères de la Nouvelle-Écosse ont été faites par MM. Dawson, Poole, J. Campbell, B. Silliman, St. Hunt, et plus récemment par M. Youle Hind (3).

Suivant M. Hind, tout le silurien inférieur de la Nouvelle-

(1) *American J.* [3]. II, 216.
(2) *Quart. J. Geological Society*. Mai. 1871.
(3) *Quarterly. J. Geological Society*. XXVI, 468.

Écosse contient de l'or. Il se compose de quartzites et de grès, alternant avec des schistes argileux et avec des lits de quartz aurifère. Une masse de couches, atteignant 2.000 mètres d'épaisseur, pourrait être exploitée pour or dans la Nouvelle-Écosse. L'épaisseur totale des couches renfermant de l'or s'élève même à 4.000 mètres, lorsqu'on y comprend les schistes plissés noirs et les micaschistes brillants.

Sir William Logan a indiqué aussi une zone aurifère dans le Laurentien du Canada. Du reste, au voisinage des filons, l'or est disséminé en parcelles fines dans les schistes de la Nouvelle-Écosse, ainsi que M. Brough Smyth l'a constaté pour les schistes de Victoria.

Minerais divers.

Ile de Sardaigne.— M. Quintino Sella (1) a fait sur l'état de l'industrie minérale en Sardaigne un rapport qui vient compléter les belles recherches du général La Marmora sur la géologie de cette île. On y trouvera des documents très-intéressants sur la nature, sur le gisement et sur la composition chimique de ses minerais métalliques. Leur classification est d'ailleurs résumée par le tableau suivant :

Gîtes métallifères.

A. Gîtes en discordance avec la stratification.

a. Filons à gangue de quartz.
b. Filons à gangue de quartz et de barytine.
c. Filons à gangue de spath fluor.
d. Filons à gangue de quartz, blende, sidérose et pyrite.
e. Filons à gangue de quartz avec cuivre gris.
f. Filons à gangue de quartz avec calcaire.

B. Gîtes en concordance avec la stratification.

Gîtes contenant des minerais mélangés, de plomb et de zinc.

g. Galène et blende avec gangue d'amphibole et de quartz.
h. Galène avec cérusite et calamine, à gangue d'argile, de calcaire, de dolomie, de quartz et de limonite. Ces gîtes sont les plus importants de l'île, car ils comprennent les minerais de plomb et de calamine du district d'Iglésias.

Gîtes de minerais de fer.

i. Hématite.

(1) *Sulle condizioni dell' industria mineraria nell' isola di Sardegna.* Florence, 1871.

k. Magnétite.
Gîtes divers.
l. Galène avec barytine.
m. Chalcopyrite à gangue de quartz et stéatite avec blende et galène.
n. Galène et chalcopyrite avec mispickel.
p. Antimonite.

C. Gîtes de manganèse.

q. Minerai de manganèse dans les fentes des trachytes anciens et à leur contact avec les calcaires tertiaires.

Enfin, dans un chapitre spécial, M. Quintino Sella résume toute la géologie de la Sardaigne. Le granite forme l'ossature de l'île et y occupe une grande étendue. Par-dessus lui se montrent successivement le gneiss et le micaschiste, les terrains silurien, carbonifère, jurassique, crétacé, tertiaire et quaternaire.

Les roches éruptives sont, du reste, le granite, le porphyre quartzifère, la diorite, le trachyte ancien, le trachyte amphibolique, le basalte, et en outre des roches volcaniques remontant à l'origine de l'époque actuelle.

BANAT. — M. Marka (1) a décrit les différents gîtes métallifères du Banat. Le plus ordinairement, ils sont au contact du calcaire jurassique et crétacé avec la syénite. Quand ils se rencontrent au contact du micaschiste avec la syénite, il arrive, le plus souvent, que le calcaire n'est pas loin.

Les minerais ont la forme de stockwerks qui pénètrent des roches à base de grenat, se trouvant à la limite du calcaire.

AMÉRIQUE SEPTENTRIONALE. — M. Guillemin Tarayre (2), membre de l'expédition scientifique du Mexique, a donné des renseignements sur le gisement et sur la production des métaux précieux dans l'Amérique du Nord. En particulier, il mentionne les riches mines d'argent de Washoë et de Reese River, dans l'État de Nevada.

Météorites et roches analogues.

M. le professeur C. Rammelsberg (3) a publié un travail d'ensemble sur la composition chimique des météorites.

---

(1) *K. K. geologisch. Reichsanstalt.* 1869, XIX, 299.
(2) *Bulletin de l'industrie minérale.* Saint-Étienne, 1870.
(3) Berlin, 1871.

— En traitant la matière charbonneuse du météorite d'Orgueil par la méthode d'hydrogénation, M. Berthelot (1) a constaté qu'on pouvait obtenir des carbures comparables aux huiles de pétrole ; toutefois leur production est plus pénible qu'avec la houille.

— M. A. Kenngott (2) a décrit un météorite grenu et globuleux de Knyahinya, qui présente des parties jaunes, tellement transparentes, qu'on peut lire au travers ; on y distingue d'ailleurs un peu de fer métallique ainsi que de la Troïlite (Haidinger).

MURCIE (Espagne).—MM. Daubrée et Stanislas Meunier (3) ont décrit et analysé un météorite tombé le 24 décembre 1858 à Murcie (Espagne). Cet échantillon, qui a grossièrement la forme d'un parallélipipède droit à base quarrée, pèse 114 kilogrammes ; en sorte que c'est un des météorites les plus volumineux que l'on connaisse. Sa densité est de 3.546. La masse est entourée sur presque toute sa surface par une croûte ocracée qui indique évidemment une oxydation ; elle est très-dure et raye le verre. L'analyse a été faite sur sa partie la plus noire, qui est d'ailleurs la moins altérée.

Sa composition immédiate paraît être la suivante :

Silicate attaquable, voisin du péridot	38,688
Silicate inattaquable, voisin du pyroxène	24,640
Fer nickelé	14 990
Fer chromé	0,920
Sulfure de fer	20,520
Phosphures métalliques	traces
	99,758

Le barreau aimanté en a séparé 14,99 p. 100 de matière magnétique, formée de fer nickelifère, avec des traces de phosphore. Elle renferme en outre 20,52 p. 100 de sulfure de fer ; la proportion de soufre est donc très-forte dans ce météorite.

KERNOUVE. — Un météorite de forme conique et pesant environ 80 kilogrammes, est tombé à Kernouve, près Napoléonville (Morbihan). Les circonstances de sa chûte ont été décrites par M. de

(1) *Journal de pharmacie*. IX, 184.
(2) *Académie des sciences de Vienne*. T. LIX, 1869.
(3) *Bull. de la Soc. chimique*. Janvier 1869, p. 57. — *Comptes rendus*. 1868, p. 639.

Limur. Sa densité est 3,747. Son analyse a été faite par M. F. Pisani (1) qui a trouvé pour sa composition : fer nickelé 20,50 ; pyrite magnétique (Fe^7S^8) 5,45 ; silicates attaquables 34,60 ; silicates inattaquables 40,22.

BREITENBACH. — M. Story-Maskelyne (2) a étudié deux minéraux qui ont cristallisé dans les druses d'un fer météorique de Breitenbach en Bohême.

Le premier, ayant une couleur vert pâle, se laisse représenter par la formule (MgO, FeO) SiO^2, qui est celle de l'enstatite. Sa densité est d'ailleurs 3,23 ; et, d'après Mr von Lang, l'angle de son prisme mesure 88°,16, en sorte qu'il se trouve un peu supérieur à celui de l'enstatite ordinaire, qui est de 87°.

Quant au deuxième minéral, il a deux axes optiques et se laisse cliver suivant les faces d'un prisme de 119°. Sa densité a varié de 2,18 à 2,245. En outre, dans une analyse, M. Story-Maskelyne a obtenu plus de 99 p. 100 de silice, et d'après cela il est porté à le regarder comme du tridymite dont la présence a d'ailleurs été signalée déjà dans les météorites.

TADJERA. — M. Daubrée (3) a encore décrit et analysé un météorite tombé le 9 juin 1867 à Tadjera près Sétif, province de Constantine (Algérie).

Ce météorite se distingue des autres par la teinte noire de sa cassure et par une certaine douceur au toucher. Sa pâte renferme des grains métalliques de deux espèces : les uns, jaune de bronze, consistent en sulfure de fer ou troïlite ; les autres, gris, tenaces et ductiles, sont formés de fer nickelé. Sa densité est de 3,54.

Traité par l'acide chlorhydrique, cette roche est partiellement attaquée et dégage beaucoup d'hydrogène sulfuré. La partie attaquable représente 71,20 p. 100 du poids total.

La composition de ce météorite peut être résumée ainsi :

Silicate attaquable	50,46
Silicate inattaquable	33,08
Fer chrômé	0.20
Sulfure de fer (Troïlite)	8.04
Fer nickelé	8,32
	100,10

(1) *Comptes rendus*, LXVIII, 1338, 1489.
(2) *Jahresbericht der chemie* : 1869, 1298.
(3) *Bulletin de la Soc. chimique*. Janvier, 1869, p. 53. — *Comptes rendus*, 1868, p. 513.

LODRAN. — Un météorite tombé le 1er octobre 1868 à Lodran, dans l'Inde anglaise, a été examiné par M. G. Tschermak (1). Les éléments minéraux qui le composent sont le fer nickelé (A), le péridot (B), le bronzite (C) et un peu de pyrite magnétique.

Leur analyse a été faite séparément par M. Tschermak, et (D) représente la composition moyenne de cette météorite de Lodran :

	SiO^2	Al^2O^3	Fe	FeO	CaO	MgO	Ni	Cr^2O^3	Résidu.	Somme.
A	»	»	85,44	»	»	0 25	12,79	»	0,81	99,29
B	40,14	»	»	13,55	»	46,01	»	0,60	»	100,30
C	55,35	0,60	»	12,13	0,58	32,85	»	»	»	101,51

	FER NICKELÉ.	PÉRIDOT.	BRONZITE (avec chromite et anorthite).	PYRITE magnétique.	SOMME.
D	32,5	28,9	31,2	7,4	100,0

BUSTI. — Deux météorites de l'Inde ont été examinés au microscope, et analysés par M. Story-Maskelyne (2).

Le premier, tombé à Busti en 1852, est remarquable en ce qu'il contient deux minéraux nouveaux, l'Oldhamite dédiée à M. Oldham directeur du *Geological Survey* de l'Inde, et l'Osbornite du nom de M. G. Osborne, résidant à Busti.

L'*Oldhamite* est du sulfure de calcium CaS, qui se présente en petits nodules arrondis, généralement recouverts par un peu de gypse et de chaux carbonatée. Le météorite de Bishopville paraît en contenir également.

Quant à l'*Osbornite*, elle était en si minime quantité qu'il n'a pas été possible de connaître exactement sa composition; mais elle cristallise en octaèdres réguliers; elle est inattaquable par les acides, même par l'acide fluorhydrique. D'après l'examen que M. Story-Maskelyne en a fait avec M. H. Clifton Sorby, elle contiendrait du calcium, probablement du titane, une trace de fer et enfin une forte proportion de soufre.

La masse principale du météorite de Busti est formée, d'après M. Story-Maskelyne, par de l'augite (A) et de l'enstatite (B) dont voici la composition :

	SiO^2	MgO	CaO	FeO	KO	NaO	Somme.
A	56,17	23,61	20,22	»	»	»	100,00
B	58,44	38,94	1,68	1,18	0,33	0,36	100,93

M. Story-Maskelyne a également analysé une petite pépite

(1) *Cosmos*. XIXe année, 3e série. T. VII, 1870 93.
(2) *Philosophical Transactions of the R. Society*. 1870.

de fer qui se trouvait dans le météorite de Busti, et il a constaté qu'elle consistait essentiellement en un alliage de fer et de nickel dans lequel il y avait en outre de la Schreibersite.

MANEGAUM. — Un deuxième météorite de l'Inde a été examiné par M. Story-Maskelyne.

Tombé en 1843, à Manegaum, il est friable, de couleur vert pâle, contient un peu de fer chrômé, mais se compose presque entièrement d'enstatite, ayant une densité de 3,198.

ROCKINGHAM. — M. Genth (1) a fait l'essai d'un fer natif qui a été trouvé dans le canton de Rockingham par M. W. C. Keer, géologue de la Caroline du Nord :

Fe	Ni,Co	Cu	Somme.
90,41	8,74	0,11	99,26

On y distingue trois variétés de fer ainsi que des cristaux de rabdite, et probablement il contient aussi de la pyrite de fer.

OVIFAK.—Le voyage au Groënland de M. le professeur Nordenskjœld (2) a amené l'importante découverte des masses si remarquables de fer natif d'Ovifak, qui sont enveloppées dans des roches basaltiques, et qui présentent toutes les propriétés physiques ou chimiques des fers météoriques.

M. Daubrée, qui s'est occupé de leur examen et de leur analyse, y distingue trois types : I à éclat métallique et presque noir ; II à éclat métallique et gris clair ; III en grains, dans une pâte silicatée vert foncé :

	FER		CARBONE		Si	HO	SULFATE de chaux.	CHLORURE de calcium.	CHLORURE de fer.
	métallique.	combiné.	libre.	combiné.					
I	40,94	30,15	1,64	3,00	0,75	2,86	1,29	0,04	0,03
II	80,80	1,60	0,30	2,60	0,29	0,70	0.05	0,23	0,09
III	61,99	8,11	1,1	3,60	»	»	0,05	0,15	0,01

Tout ces fers natifs contiennent du nickel, du cuivre, ainsi que du carbone, et ce dernier est même en proportion très-notable ; ils se distinguent aussi par la présence des sels solubles dans l'eau, et les analyses précédentes donnent les proportions de sulfate de

(1) *Proceedings of the American Philosophical Society*. 1870. Vol. XI, 443.
(2) *Comptes rendus* 24 juin et 29 juillet 1872.

chaux, de chlorure de calcium et de chlorure de fer qui ont été obtenues par M. Daubrée.

Les sels déliquescents, les chlorures de fer et de calcium sont intimement disséminés dans la roche et incontestablement originaires; ils contribuent à altérer rapidement les fers natifs d'Ovifak, qui peuvent même se réduire en poudre très-fine; le type II, le plus riche en chlorure de calcium, est de beaucoup celui qui s'altère le plus vite.

Le climat du Groënland est, on le conçoit, bien plus favorable que le nôtre à leur conservation.

— Le fer natif d'Ovifak doit-il être considéré comme météorique?

Plusieurs membres des sociétés géologiques d'Angleterre et de France, notamment, MM. Ramsay et de Chancourtois, ne l'ont pas pensé, et c'est aussi notre manière de voir.

En effet, dans l'hypothèse d'une origine cosmique, on serait conduit à admettre que ce fer est tombé du ciel à l'époque miocène, au moment même où une roche basaltique faisait éruption et était encore complétement liquide, puisqu'il s'y trouve intimement disséminé.

Or il est beaucoup plus naturel de penser que le fer d'Ovifak a été réduit à l'état métallique par le carbone et par les matières organiques, qu'on rencontre généralement dans les roches trappéennes (1). Depuis plusieurs années, M. Th. Andrews a d'ailleurs signalé la présence de petites parcelles de fer métallique, disséminées dans les roches trappéennes de l'Irlande et de différents pays; on conçoit donc que, dans certaines circonstances, on puisse en rencontrer de véritables masses.

Ce fer, de même que les autres minéraux des roches, a dû naturellement prendre la structure cristalline, comme le fer des météorites.

Son association avec le nickel, avec le cobalt, avec le chrôme ou avec le cuivre peut en outre s'expliquer facilement, puisque l'analyse apprend que ces divers métaux existent dans les roches trappéennes et serpentineuses.

Quant au phosphore et aux sels solubles, tels que les chlorures et les sulfates, leur présence a été souvent constatée dans les roches éruptives, surtout lorsqu'elles sont volcaniques.

---

(1) Delesse: *De l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre* (*Ann. des mines* de 1860, t. XVIII.)

L'identité de caractères physiques et chimiques entre le fer natif d'Ovifak et les fers qui ont une origine cosmique incontestable est certainement un fait qui mérite de fixer l'attention; car, ainsi que l'a remarqué M. de Chancourtois, il établit un nouveau lien entre les météorites et les roches rejetées du sein de la terre.

Observons du reste qu'il serait très-intéressant d'étudier avec soin tous les gisements des fers natifs, afin de reconnaître ceux qui ont bien réellement une origine cosmique et ceux auxquels on peut au contraire attribuer une origine terrestre.

TROISIÈME PARTIE.

TERRAINS.

TERRAINS PALÉOZOÏQUES.

TERRAIN ANTÉSILURIEN.

Ère antéprimordiale. — Eozoon Canadense.

M. Barrande(1) a fait ressortir la grande insuffisance des documents qui ont servi à l'établissement de l'ère antéprimordiale, caractérisée par les systèmes laurentien et huronien du Canada. Après avoir montré que toutes les évaluations relatives à l'épaisseur de ces deux groupes ne reposent sur aucune base sérieuse et qu'il n'y a pas beaucoup plus de fonds à faire sur l'exactitude des rapprochements essayés entre les roches antésiluriennes de diverses contrées et celles du Canada, M. Barrande s'est attaché à démontrer que, si l'on admet la nature animale de l'Eozoon, les conséquences qu'on en peut déduire, conformément aux doctrines de la filiation et de la transformation des types, sont en contradiction formelle avec les faits observés. Ainsi, à un protozoaire comme l'Eozoon, il fallait s'attendre à voir succéder les polypiers calcaires Or la faune primordiale silurienne n'en renferme aucun, et c'est à peine si l'on en observe un seul dans les roches cambriennes de Suède. De plus, la faune primordiale diffère d'une manière très-marquée de la faune cambrienne, et rien, dans cette dernière, ne fait présager d'aucune manière l'apparition des trilobites, qui atteignent de suite, dans l'ère primordiale, un si remarquable développement.

(1) Supplément au vol. I du *Syst. silur. du centre de la Bohême*. Prague et Paris, 1871.

En résumé, dit M. Barrande, ou bien la doctrine de l'évolution par filiation et transformation est fausse, ou bien l'Eozoon, considéré comme le premier type animal, duquel les autres doivent dériver, n'a que les apparences de l'organisation.

Du reste, MM. King et Rowney (1) continuent la campagne qu'ils ont entreprise pour démontrer l'origine minérale de l'Eozoon Canadense (2). Ils affirment avoir rencontré le prétendu Eozoon dans une ophite de l'île de Skye qui appartient certainement à l'époque du lias, et, après avoir discuté un à un tous les arguments présentés par M. Dawson en réponse à leurs objections, ils concluent en disant que l'hypothèse de l'origine organique de l'Eozoon est incompatible avec ce fait qu'on ne l'a jamais rencontré jusqu'ici que dans des roches entièrement cristallines.

ALPES OCCIDENTALES. — M. Gastaldi (3) a établi deux grandes subdivisions dans les roches cristallines des Alpes occidentales. Le groupe inférieur est formé par le gneiss ancien ou gneiss granitique, qui constitue les grandes masses du mont Rose, du Grand-Paradis et de la Doria Riparia. Le groupe supérieur est constitué par des roches magnésiennes, euphotides, serpentines, diorites, amphibolites, associées à des gneiss à grain fin, à des calcaires saccharoïdes et à des granites massifs : c'est à ce groupe, dit des *roches vertes*, qu'appartiennent le mont Cervin et le mont Viso.

L'ensemble des deux groupes est placé par l'auteur parmi les terrains antésiluriens sur la même ligne que les systèmes laurentien et huronien du Canada.

NORWÉGE. — M. K. Petersen (4) a décrit les caractères du groupe des micaschistes dans le district de Tromsoe. Dans les assises supérieures de ces schistes sont intercalées des couches d'un calcaire à grain grossier, gris blanchâtre. La direction générale est nord-sud, suivant l'axe longitudinal du Lyngenfjord.

Ce groupe schisteux est intimement associé à une série de roches massives, granitiques, amphiboliques et pyroxéniques, souvent riches en grenat, que M. Petersen considère, au moins pour la plupart, comme des sédiments métamorphiques. En effet, dans l'intérieur de ces roches massives il s'en trouve de nettement

(1) *Proceedings of the Royal Irish Academy*. Janvier et avril 1871.
(2) *Revue de géologie*, IX, 94.
(3) *Mem. Comit. geol. d'Italia*. 1871. I, 1.
(4) *Neues Jahrb.*, 1871, 942.

stratifiées, intermédiaires par leur structure entre les schistes et les roches grenues. Le passage des parties stratifiées aux parties massives se fait par transitions insensibles et n'est soumis à aucune règle. Les schistes encaissants présentent eux-mêmes, au voisinage des roches massives, des couches intercalées à texture grenue, et quand les roches amphiboliques et pyroxéniques sont en couches, leur stratification est toujours concordante avec celle des schistes sur lesquels elles reposent. Enfin les roches à structure massive se retrouvent, sur beaucoup de points éloignés, à des niveaux exactement concordants.

ALPES AUTRICHIENNES. — D'après M. de Mojsisovics (1), le gneiss central est la formation sédimentaire la plus ancienne des Alpes autrichiennes. Au-dessus viennent la *calotte schisteuse* des géologues d'Autriche, composée de micaschistes et de schistes verts, puis la zone des gneiss récents. Le premier de ces trois groupes correspondrait au système laurentien, le second au système huronien et le troisième au système de Terre-Neuve, récemment distingué par M. Sterry Hunt.

AMÉRIQUE DU NORD. — D'après M. Sterry Hunt (2), le terrain antésilurien ou précambrien de la région des Appalaches comprend trois formations distinctes :

1° La série d'Adirondack, ou terrain laurentien, composée de gneiss granites souvent amphiboliques, mais jamais micacés, et sans argilites, avec quartzites, calcaires cristallins à graphite et d'immenses couches de minerai de fer magnétique.

2° La série des Montagnes Vertes, ou terrain huronien, formée de pétrosilex ou d'eurite, avec du gneiss micacé, des roches dioritiques, épidotiques, chloritiques, des serpentines et des dolomies. Le minerai de fer, plus rarement magnétique, s'y rencontre aussi ; les argilites abondent et sont souvent onctueuses, ce qui les a fait prendre pour des schistes talqueux, bien qu'elles ne contiennent pas de magnésie.

3° La série des Montagnes Blanches, caractérisée par la prédominance des micaschistes et des gneiss micacés avec quelques couches de calcaire cristallin et des schistes à staurotide, andalousite, disthène et grenat. On y observe des filons granitiques avec émeraude, tourmaline et lépidolite.

(1) *Verhandl. d. K. K. g. R.* 1871, 361 ; 1872, 46.
(2) *Geol. Mag.*, IX, 76.

M. Hunt est du reste d'avis que les roches cristallines du même âge ont généralement une composition semblable, et que réciproquement des roches de même composition, associées les unes aux autres de la même façon, sont généralement du même âge.

TERRAIN SILURIEN.

Écosse. — MM. Lapworth et Jas. Wilson (1) ont étudié les assises siluriennes des comtés de Roxburg et de Selkirk dans le sud de l Écosse.

La base du système est formée par les *roches de Hawick*, consistant en grès et schistes gris et pourprés, avec traces de vers, Arenicolites, Protichnites trichoïdes, Protovirgularia et Annélides.

Au-dessus viennent les *couches de Selkirk*, série de grès à grain fin et de phyllades avec filons de spath calcaire : on n'y a trouvé que deux espèces de Protovigularia, un crustacé et de rares annélides.

La *série de Moffat*, qu'on trouve ensuite, est constituée par des grauwackes et des schistes foncés, et contient à son sommet un lit d'anthracite qui forme, par sa constance, un précieux horizon. A l'anthracite est associé un schiste noir très-riche en graptolithes, parmi lesquels Dicellograpsus Forchammeri, D. moffatensis, Cladograpsus linearis, Diplograpsus pristis, D. vesiculosus, Climacograpsus teretiusculus.

Le *groupe de Gala* est formé par un grès en couches minces avec schistes, grès pourprés et conglomérats. On y trouve aussi de nombrenx graptolithes, Diplograpsus palmeus, Graptolithus priodon, G. colonus, G. Sedwickii, G. Nilssoni, G. gemmatus, Rastrites Linnæi, Retiolites Geinitzianus, et, en outre, deux espèces de Ceratiocaris et deux espèces d'Aptychopsis.

L'ensemble de cette faune diffère essentiellement des fossiles de la série de Moffat. Plus des neuf dixièmes des graptolithes de Moffat ont disparu, et le changement a été très-brusque, car la plupart des fossiles du groupe de Gala peuvent être recueillis à quelques mètres de distance de l'anthracite de Moffat.

Les quatre groupes d'assises qui viennent d'être mentionnés se rencontrent, plongeant régulièrement les uns sous les autres, à partir de l'axe anticlinal de la contrée, en s'avançant vers le nord.

---

(1) *Geol. Mag.*, VIII, 456.

Si, au contraire, on se dirige vers le sud, on trouve bien encore les groupes de Hawick et de Selkirk : mais au-dessus viennent, sans intermédiaire, les *couches* dites *de Ricarton*, qui appartiennent au silurien supérieur.

Ce sont des grès et des phyllades avec d'innombrables lits de schistes charbonneux à graptolithes. Les fossiles principaux sont : Rhynchonella nucula, Orthoceras tenuicinctum, O. ibex, O. tracheale, Graptolithus priodon, G. colonus, G. Flemingii, Ceratiocaris, Aptychopsis et Pterygotus.

En comparant les graptolithes de la série de Moffat avec ceux des autres contrées, on est conduit à classer cette série à la hauteur des schistes d'Utica et du groupe de la rivière Hudson, c'est-à-dire sur l'horizon de Bala ou plutôt entre Bala et Llandeilo.

Quant au groupe de Gala, il doit occuper le sommet du silurien inférieur ou la base du silurien supérieur : il a de grandes affinités avec les colonies de M. Barrande et avec la première bande de l'étage E de la Bohême.

Il est à remarquer que ces formations siluriennes du sud de l'Écosse sont très-pauvres en gisements fossilifères, et il a fallu de la part des auteurs de longues et patientes recherches pour recueillir les éléments de leur étude.

Pays de Galles. — M. Hicks (1) a donné la description de tous les fossiles qu'il a récemment découverts dans les *couches ménéviennes* (2) du pays de Galles. L'ensemble de la faune de cet étage comprend aujourd'hui : trilobites, 10 genres et 30 espèces ; crustacés divers, 3 genres et 4 espèces ; brachiopodes, 4 genres et 6 espèces ; ptéropodes, 3 genres et 6 espèces ; spongiaires, 1 genre et 4 espèces ; cystidées, 1 genre et 1 espèce ; annélides nombreux.

Les nouvelles espèces décrites par M. Hicks appartiennent aux genres Agnostus, Arionellus, Erinnys, Holocephalina, Conocoryphe, Anopolenus, Cyrtotheca, Stenotheca, Theca, Protocystites.

Scandinavie. — M. Tornebohm (3) a étudié les roches siluriennes de la chaîne centrale de la Scandinavie entre Oestersund (Suède) et Levanger (Norwége).

Au-dessus du granite vient une série de schistes verts, amphi-

(1) *Geol. Society*, 6 déc. 1871.
(2) *Revue de géologie*, IX, 95.
(3) *Sveriges geologiska undersoekning*. 1872.

boliques ou chloritiques, représentant le cambrien : puis le silurien proprement dit est représenté par un schiste alunifère que recouvre un calcaire à orthocératites, un calcaire à chasmops et un calcaire à encrinites. Ce dernier est surmonté par des schistes quartzeux et micacés, formant le groupe *Sévéen*, auquel succède le groupe *Kölien*, constitué par des schistes argileux et amphiboliques : ces deux derniers groupes appartiennent vraisemblablement au silurien supérieur et correspondent aux couches distinguées en Norwège par M. Kjerulf, sous les noms de terrain schisteux de Trondhjem et quartzites et schistes des Hautes Montagnes.

BOHÊME.—On sait que les géologues autrichiens avaient cherché à expliquer par de simples bouleversements de couches la présence des schistes de l'étage D de la Bohême, tandis que M. Barrande avait fondé la doctrine des *colonies* (1) sur le fait de l'intercalation régulière des schistes à graptolithes parmi les quartzites. Après une longue suite de débats, les adversaires de M. Barrande, MM. Lipold et Krejci, ont reconnu que leur opinion ne pouvait plus être soutenue; en sorte qu'il est aujourd'hui bien démontré que les graptolithes ont fait leur apparition, par exception, en Bohême, au milieu d'un système caractérisé par une faune antérieure à celle qui accompagne les mêmes graptolithes à l'époque de leur principal développement.

ILE DE TERRE-NEUVE. — M. Barrande (2) a étudié une collection de céphalopodes fossiles recueillie à Terre-Neuve par M. Cloué. Ces céphalopodes, distincts des espèces déjà figurées par M. Billings et provenant d'une autre partie de l'île, appartiennent à la faune seconde et établissent une remarquable analogie entre la formation qui les contient et le calcaire à orthocères du nord de l'Europe, tandis qu'il y a une relation beaucoup moins étroite entre le silurien de Terre-Neuve et celui du continent américain. L'étage correspondant en Bohême serait la bande d_1 de l'étage D de M. Barrande.

La faune primordiale existe aussi à Terre-Neuve : or elle n'offre plus aucun céphalopode ; et ce caractère se reproduit partout où la faune primordiale a été reconnue.

Abondance extrême des céphalopodes dans la faune seconde, absence complète dans l'autre, tel est le fait universellement

(1) *Revue de géologie*, I, 111 ; V, 151.
(2) *Distribution des céphalopodes dans les contrées siluriennes*. Prague, 1870.

constaté par M. Barrande, et dans lequel ce savant voit un argument capital contre la théorie de l'évolution progressive des espèces. Il lui semble inadmissible, en effet, qu'une famille si richement représentée sur l'horizon de la faune seconde n'ait jamais eu aucun précurseur dans la faune première, d'autant mieux que cette faune est assez bien connue sur un grand nombre de points pour qu'on ne puisse pas arguer de l'insuffisance des observations.

TERRAIN DÉVONIEN.

IRLANDE. — D'après M. Baily (1), le vieux grès rouge supérieur de Kiltorcan, dans le comté de Kilkenny, contient une riche flore où l'on remarque les espèces suivantes : Sphenopteris Hookeri, S. Humphresianum, Knorria Bailyana, Cyclostigma, Palæopteris, etc.

A cette flore sont associés des poissons, Coccosteus, Pterichthys, Dendrodus, Glyptolepis, et des crustacés, Pterygotus Hibernicus, Eurypterus Kiltorkensis, Proricaris Mc Henrici; enfin une seule coquille de mollusque, Anodonta Jukesii.

ARDENNES, PROVINCES RHÉNANES. — M. E. Kayser (2) a entrepris de définir le synchronisme des divers étages du dévonien de la région rhénane avec ceux de l'Ardenne.

Le grès à Spirifer Verneuili, composé de marnes calcaires, de schistes marneux et de grès en plaquettes, serait l'équivalent des psammites du Condroz. Aux schistes de Famenne correspondraient les schistes verdâtres à Spirifer Verneuili, tandis que le calcaire de Kramenzel, les marnes calcaires grises et les schistes marneux foncés représenteraient les couches de Frasne à Terebratula cuboïdes. Le calcaire à stringocéphales étant l'équivalent du calcaire de Givet, les couches de Burnot seraient représentées par les schistes rouges et les conglomérats, tandis que la grauwacke quartzeuse foncée équivaudrait à l'ahrien. Enfin le gédinien serait synchronique de la grauwacke rhénane verdâtre, des schistes rouges et du conglomérat rouge à gros éléments.

La même comparaison a été entreprise par M. Kayser (3) entre le dévonien de l'Ardenne et celui de l'Eifel. Les schistes à gonia-

(1) *Geol. Mag.*, IX, 90.
(2) *Zeit. d. d. g. G.* XXII. 841.
(3) *Zeit. d. d. g. G.* XXIII, 289.

tites et les calcaires à Terebratula cuboïdes sont placés par lui sur l'horizon des psammites du Condroz, des schistes de Famenne et du calcaire de Frasne. Le dévonien moyen de l'Eifel correspond trait pour trait à celui des environs de Givet. Enfin les couches de Wicht représentent l'étage de Burnot.

TURQUIE. — D'après M. de Hochstetter (1), le terrain dévonien de la Turquie orientale est formé de schistes argileux, de schistes siliceux, de grès et de calcaire bleu foncé : les couches sont fortement relevées et, dans la partie méridionale de la péninsule de Thrace, elles sont orientées nord-ouest-sud-est avec plongement au sud. 402 espèces fossiles y ont été trouvées, savoir : 25 crustacés, 295 mollusques, 25 crinoïdes, 57 divers. Les principales espèces sont les suivantes : Homalonotus Gervillei, Rhynchonella Guerangeri, Spirifer macropterus, S. subspeciosus, S. Davoustii, Orthis orbicularis, Chonetes sarcinulata, Pleurodictyum problematicum.

L'ensemble offre le facies du dévonien inférieur de l'Europe occidentale; cependant on y rencontre aussi quelques formes du silurien supérieur, Trochoceras Barrandii, Orthis Gervillei, Tentaculites ornatus.

Dans une carrière située près de la chapelle Ajasma, à Constantinople, on voit un schiste argileux gris bleuâtre, traversé par des dykes dioritiques. Ce schiste contient : Spirifer loculatus, S. quadratus, Strophomena tortuosa, S. undulata, Orthis pernoïdes, Cryphæus Fritschii.

TERRAIN CARBONIFÈRE.

RÉGIONS ARCTIQUES. — Dans l'été de 1870, deux naturalistes suédois, MM. Wilander et Nathorst (2), ont découvert au Spitzberg, sur les bords de l'Eisfiord, la formation houillère caractérisée par Lepidodendron Veltheimianum et Stigmaria ficoïdes. En même temps, M. Nordenskjöld constatait l'existence du même terrain à Ovifak, sur la côte du Groënland. Or M. Heer (3) avait déjà signalé, dans l'île des Ours, entre la Scandinavie et le Spitzberg, le terrain houiller inférieur à Lepidodendron Veltheimianum et Knorria imbricata. Il résulte de cet ensemble de faits que la formation carbonifère est très-développée dans les régions arctiques,

(1) *Jahrb., d. K. K. g. R.*, XX, 1870.
(2) *Geol. Mag.*, IX, 69.
(3) *Flora fossilis arctica*, II.

qu'elle présente une flore tout à fait semblable à celle qui la caractérise dans d'autres latitudes et que, par suite, le climat de l'époque houillère devait être incomparablement plus uniforme que celui de l'époque actuelle.

M. Nordenskjöld (1) a établi dans le terrain carbonifère du Spitzberg et de l'île des Ours les divisions suivantes :

I. Grès avec houille et schistes argileux. .	Calcaire à cyathophyllum et dolomie. Calcaire à spirifer avec gypses, contenant des spirifer de taille colossale. Calcaire à Productus, avec grandes espèces à test très-épais. Bancs de schistes siliceux.
II. Calcaire carbonifère.	

D'après l'étude des plantes du grès inférieur, M. O. Heer le considère comme l'étage le plus ancien de la formation carbonifère, et lui donne comme synchroniques le grès jaune de Kiltorkan, les schistes carbonifères du Tallowbridge, près de Waterford, la grauwacke des Vosges, le terrain houiller du Bas-Boulonnais, les couches à Spirifer Verneuili d'Aix-la-Chapelle, les couches à végétaux de Saint-John dans le Nouveau-Brunswick. Cet étage contient les Calamites radiatus (Bornia radiata) et Lepidodendron Weltheimianum.

GRANDE-BRETAGNE. — M. Daniel Jones (2) a donné quelques détails sur le calcaire à Spirorbes qui se rencontre dans le bassin houiller de la forêt de Wyre, entre Bridgenorth et les collines d'Abberley : ce calcaire, qui fait partie du terrain houiller supérieur, a, dans le bassin de Shrewsbury, environ 2^m,30 d'épaisseur et est divisé en deux bancs : celui du haut est compacte, légèrement argileux, avec une cassure conchoïdale et esquilleuse; celui du bas est celluleux et imprégné de bitume. Dans la forêt de Wyre, ces deux couches se retrouvent encore, mais avec une épaisseur beaucoup moindre.

M. H. Woodward (3) a examiné un insecte fossile trouvé à Dudley dans un nodule de minerai de fer argileux faisant partie du terrain houiller : les empreintes admirablement nettes laissées par cet insecte ont permis de le rapporter avec certitude à la classe des arachnides et de l'identifier avec un insecte du terrain houiller de Coalbrook-Dale, considéré à tort comme un coléoptère : M. Woodward propose de le nommer Eophrynus Prestwichii.

(1) *Neues Jahrb.* 1871, 979.
(2) *Geol. Mag.*, VIII, 372.
(3) *Geol. Mag*, VIII, 385.

C'est la première fois qu'un arachnide est constaté dans le terrain paléozoïque d'Angleterre.

Cette classe se trouve actuellement représentée, dans le terrain houiller de diverses contrées, par huit genres différents.

— Le gouvernement anglais avait institué une commission chargée de faire une enquête sur l'étendue et la puissance du terrain houiller dans le Royaume-Uni. Cette commission a déposé son rapport (1), d'après lequel, en ne considérant que la houille située à une profondeur moindre que 1.300 mètres, on peut évaluer à 90.207.000.000 de tonnes la quantité de charbon existant en affleurement dans les bassins houillers connus de la Grande Bretagne. En outre, on estime à 56.273.000.000 de tonnes la quantité de houille recouverte, à des profondeurs exploitables, par le permien, le trias et les autres terrains superposés. En somme, cela fait 146.480.000.000 de tonnes, représentant une consommation de 276 années.

M. J. Prestwich, l'un des commissaires, est d'avis, contrairement à l'opinion de plusieurs de ses collègues, qu'il peut y avoir, dans le sud et le sud-est de l'Angleterre, un grand bassin houiller souterrain, recouvert seulement par 300 ou 400 mètres de terrains supérieurs. En tout cas, il lui semble que des sondages entrepris en vue de résoudre cette question ne coûteraient pas une très-grosse somme et, à défaut de houille, pourraient rencontrer le grès vert, dont les eaux si pures et si abondantes seraient d'un grand secours pour l'alimentation de Londres.

Il convient de rapprocher de cette opinion de M. Prestwich le fait de la découverte récente du terrain houiller à peu de distance de Birmingham. Après sept années de recherches, M. Dawes (2) a rencontré, à 150 mètres de profondeur, une couche de houille mesurant près de 5 mètres d'épaisseur et d'excellente qualité.

Belgique. — On observe dans le bassin de Liége, au toit de quelques-unes des couches de houille, des coquilles bivalves d'abord appelées Unio, puis rapportées au genre Cardinia ou constituées à l'état de genre nouveau sous le nom d'Anthracosia. M. Malherbe (3) a indiqué les couches, d'ailleurs peu nombreuses, qui

(1) *Report of the commissioners appointed to inquire*, etc., 1871.— *Geol. Mag.*, VIII, 517.

(2) *Géol. Mag.*, VIII, 576.

(3) *Académie royale de Belgique*, 2e série, XXXII, 368.

fournissent ces coquilles, qu'il regarde comme un précieux moyen d'établir la synonymie des veines de houille du bassin.

M. Dewalque cite, comme associées aux cardinies, les espèces suivantes : Avicula papyracea, Goniatites Listeri, Mytilus Wesmælanus.

MM. Briart et Cornet (1) ont étudié la même question pour le bassin de Mons : ils y reconnaissent sept niveaux fossilifères différents. Or le nombre des couches où M. Malherbe signale des cardinies à Liége est justement de sept. Il y a là une très-singulière coïncidence, et si l'identité de quelques-uns de ces niveaux peut être ultérieurement établie, la paléontologie aura permis de jeter une lumière inattendue sur le parallélisme des couches de Liége avec celles de Mons.

Parmi les fossiles du bassin de Mons, M. Dewalque cite : Orthis crenistria, O. Michelini, Cardinia colliculus, C. uncinata, Goniatites, Pecten, Terebratula, etc.

Régions rhénanes. — M. Douvillé (2) a étendu au terrain houiller de la région rhénane la division en deux groupes déjà indiquée par M. le professeur C. Naumann pour le terrain houiller de la Saxe. En Saxe, cette division est justifiée par un système de dislocations dans lequel MM. Michel Lévy et Choulette ont reconnu la direction du primitif de Lisbonne (N. 60° Est). Dans la Thuringe, les terrains paléozoïques, y compris la grauwacke de Culm à Bornia radiata (Calamites transitionis), sont affectés de plissements nord-est, tandis que le terrain houiller intimement uni au permien repose sur la grauwacke en stratification discordante. Dans le Hartz, le plissement nord-est affecte le dévonien, le calcaire à goniatites, les schistes à possidonies et la grauwacke à Bornia, tandis que les couches houillères d'Ilfeld n'y participent pas. Enfin, dans le massif rhénan, toutes les couches dévoniennes et carbonifères sont concordantes, y compris les terrains houillers de la Belgique et de la Westphalie, et plissées parallèlement au primitif de Lisbonne : et par-dessus repose, en discordance, le terrain houiller de Sarrebrück, si difficile, comme on sait, à séparer du terrain permien.

Il y a donc lieu de distinguer sur les bords du Rhin deux terrains houillers séparés par une grande dislocation : 1° un terrain houiller inférieur, tantôt dépôt de rivage et alors riche en couches

(1) *Académie royale de Belgique*, 2° série, XXIII, 1.
(2) *Comptes rendus*, 20 mai 1872.

de houille (Belgique et Westphalie), tantôt représenté par des schistes et des grès (Hesse); 2° un terrain houiller supérieur (Saarbrück). A l'étage supérieur se rattachent les petits bassins houillers des Vosges, ceux d'Autun et du Creuzot, tandis que la grauwacke de Thann correspond à l'étage inférieur.

ANDALOUSIE. — M. Parran (1) a donné quelques détails sur le bassin houiller de Belmez (Andalousie). Ce bassin, aujourd'hui isolé, et encaissé de toutes parts dans les quartzites et les schistes siluriens, devait être autrefois rattaché aux roches carbonifères des environs de Séville et de Cordoue. On y observe des bandes de calcaire carbonifère, des poudingues et conglomérats, des grès et des schistes. L'une des couches de houille, celle dite la Terrible, a 15 mètres de puissance. En quelques points, elle a été métamorphosée et durcie par des épanchements porphyriques.

NÜRSCHAN. — On exploite à Nürschan, en Bohême, une houille à gaz qui paraît être l'équivalent du bog-head écossais : cette houille contient une faune que M. A. Fritsch avait signalée, en 1870, comme présentant beaucoup d'affinité avec celle du trias inférieur. Depuis, M. Feistmantel (2) a trouvé dans ce gisement 44 espèces de plantes fossiles, dont 36 sont nettement carbonifères, tandis que 8 seulement seraient permiennes. Il n'y a donc pas à douter que la houille à gaz de Nürschan n'appartienne au terrain houiller, et s'il demeure prouvé que quelques restes organiques permiens s'y rencontrent, il faudra l'attribuer à un phénomène de migration ou colonie.

CARINTHIE. — M. Tietze (3) a reconnu qu'à Pontafel, en Carinthie, il existe entre un conglomérat quartzeux et un calcaire noir à fusulines une série de schistes noirâtres, à fines lamelles de mica, où l'on trouve les espèces suivantes : Productus giganteus, P. pustulosus, P. semireticulatus, Spirifer striatus, Bellerophon Urii, Nerita spirata, Pleurotomaria canaliculata, Littorina obscura. Tandis que la plupart de ces espèces indiquent le calcaire carbonifère inférieur, la dernière, Littorina obscura, rappelle les intercalations marines observées en Angleterre et en Silésie dans le terrain houiller inférieur. Vers le haut, les schistes contiennent

---

(1) *Bull. So. géol.*, XXVIII, 15.
(2) *Neues Jahrb.* 1871, 110.
(3) *Jahrb. d. K. K. g. R.*, 1872, 142.

des plantes qui paraissent correspondre au terrain houiller proprement dit. L'ensemble de la série carbonifère serait donc complet en Carinthie, surtout si l'on rapproche les conglomérats quartzeux de la base de ceux qu'on observe dans le Culm.

SIBÉRIE. — M. Geinitz (1) a décrit les plantes fossiles du bassin houiller de l'Altaï, rapportées par M. de Cotta du musée de Barnaoul. On reconnaît dans presque toutes des espèces déjà décrites, telles que Equisetites Socolowski, Annularia longifolia, Cyclopteris orbicularis, Noeggerathia æqualis, N. distans, etc. L'ensemble indique l'étage carbonifère supérieur. Un échantillon de cycadée, appartenant au genre Pterophyllum, a été trouvé sur le même fragment que l'Annularia longifolia. Cette association n'est pas particulière à la Sibérie; elle a déjà été constatée dans les couches carbonifères de la forêt Noire.

BRÉSIL. — M. Hartt (2) a découvert la formation houillère inférieure au Brésil, sur les bords du fleuve des Amazones, au voisinage d'Uxituba et d'Itaituba. Elle est formée de schistes calcaires et de grès fossilifères contenant des Productus, Spirifer, Athyris, Terebratula, Phillipsia, Edmundia, Aviculopecten, Fenestella, etc.

TERRAIN PERMIEN.

ANGLETERRE. — M. Green (3) a étudié la formation permienne du Yorkshire méridional : on y observe, de haut en bas, des marnes et grès avec gypse, contenant, en leur milieu, un calcaire, puis une dolomie à grain fin, un calcaire, et enfin des sables.

Les fossiles ne se rencontrent guère que dans le calcaire inférieur : encore sont-ils presque tous atrophiés.

M. Green voit dans les circonstances de ce dépôt permien du Yorkshire une confirmation de la théorie de M. Ramsay (4) ; d'après cette théorie, les dolomies permiennes ont dû se former par précipitation chimique dans des mers intérieures, et l'état presque toujours atrophié et rabougri des mollusques fossiles atteste combien leur existence a été difficile, ce qui devait être dans des eaux aussi fortement chargées de matières salines. Or, selon M. Green,

(1) *Americ. Journ.* (3), II, 149.
(2) *Neues Jahrb.*, 1871, 63.
(3) *Geol. Mag.*, IX, 99
(4) *Geol. Society*, XXVII, 245.

les sables se sont déposés dans la mer intérieure du Yorkshire en attendant qu'elle fût suffisamment saturée de sels : à partir de ce moment, les réactions chimiques ont de plus en plus dominé sur les précipitations mécaniques, et les animaux ont cessé de pouvoir vivre. Quant à la source qui a fourni les éléments salins, il faudrait la chercher dans les phénomènes éruptifs qui se sont certainement produits pendant la période permienne avec accompagnement de sources minérales.

ITALIE. — M. Curioni (1) a décrit les particularités géologiques du terrain permien dans le Val Trompia. On trouve dans ce gisement les Noeggerathia foliosa, N. cuneifolia, N. expansa, des Rhabdocarpus, et des traces de pas qui paraissent se rapporter à des espèces très-voisines des Saurichnites lacertoïdes et S. salamandroïdes.

TERRAINS MÉSOZOÏQUES.

TERRAIN TRIASIQUE.

ALPES ORIENTALES. — On doit à M. de Mojsisovics (2) d'importantes études sur le trias supérieur dans les Alpes Orientales. L'auteur a reconnu, par l'étude des faunes marines et de leur distribution géographique, que la ligne de démarcation la plus importante dans le trias alpin passe au milieu du calcaire de Hallstatt. Adoptant cette ligne pour point de départ, M. de Mojsisovics comprend les couches supérieures sous le nom d'étage *carnique* et les couches inférieures sous le nom d'étage *norique*.

Le terme inférieur de l'étage *norique* est constitué par des calcaires, assez étroitement liés au muschelkalk qu'ils recouvrent, et contenant Halobia Lommeli, Ammonites tridentinus, Amm. doleriticus. Ce sont les calcaires de Poetschen; au-dessus viennent des

(1) *Osservazione geol. sulla Val Trompia*. Milan, 1870.
(2) *Jahrb. d. K. K. g. R.* XIX, 91.

grès avec plantes du Lettenkohle. Cet ensemble, constituant, dans l'étage norique, ce que M. de Mojsisovics appelle le groupe *oenique*, est séparé par la dolomie de Partnach du second groupe de l'étage, ou groupe *Halorique*. Ce groupe, très-développé dans les Alpes noriques, comprend, de haut en bas, dans le Salzbourg :

1° Couches à Ammonites Metternichii du calcaire de Hallstatt;

2° Couches de Zlambach;

3° Calcaire de Reichenhall;

4° Gisements de sel du Salzkammergut.

Dans le Tyrol, à Hall, le n° 4 fait défaut et le sel se rencontre dans le Haselgebirge, à la hauteur des couches de Zlambach.

Il y a, dans les gîtes salifères de Salzbourg, deux horizons principaux, l'horizon supérieur, ou région de l'anhydrite (1), l'horizon inférieur ou région de la polyhalite : l'une et l'autre contiennent, soit du sel finement disséminé, soit du sel gemme en amas.

L'étage *carnique* se divise en deux groupes : le groupe *badiotique* à la base, le groupe *larique* au sommet.

Le premier débute par les calcaires de Hallstatt à Ammonites Aonoïdes, A. triadicus, A. Wengensis, A. cymbiformis, A. Haïdingeri, Halobia Lommeli; cet horizon est représenté, dans le Tyrol méridional, par les couches de Wengen, à Amm. Wengensis et plantes du Lettenkohle; dans les Alpes carniques, à Raibl, par les schistes à poissons et, dans les Alpes orientales de l'Autriche, par les schistes à Amm. Aonoïdes et A. triadicus.

Le sommet du groupe *badiotique*, non représenté dans le Salzkammergut, comprend, dans le Tyrol septentrional, les couches à Cardita crenata et Amm. floridus, avec plantes du Lettenkohle : cet horizon est représenté, en Lombardie, par les couches à Myophoria Kefersteini de Gorno et Dossena ; à Saint-Cassian, par les couches à Amm. floridus, à Cardita crenata et à Amm. Eryx ; dans l'Autriche orientale, par les schistes de Reingraben, le grès carbonifère de Lunz et les couches à Cardita d'Opponitz.

Le groupe *Larique* comprend : à la base, le calcaire du Wetterstein, avec polypiers, gastéropodes, et Dactylopora annulata; au sommet, le calcaire du Dachstein, avec Megalodus triqueter et Rissoa alpina. Le calcaire du Wetterstein, représenté dans le Tyrol septentrional, a pour équivalents le calcaire d'Esino en Lombardie, la dolomie du Schlern dans le Tyrol méridional et la dolomie d'Opponitz. Quant au calcaire du Dachstein, ses équivalents sont, en

---

(1) *Jahrb. d. K. K. g. R.* XIX, 151.

Tyrol, la dolomie de Seefeld; en Lombardie et dans la région de Saint-Cassian, la dolomie moyenne à Megalodus, et, en Autriche, un calcaire contenant également le Megalodus triqueter.

— La chaîne de hauteurs connue sous le nom de Bakonyerwald, et qui s'étend du lac Balaton jusqu'au coude du Danube, en amont de Pesth, présente, aux environs de Vezprem, un assez grand développement de la formation triasique. M. de Mojsisovics (1) y a reconnu l'existence du groupe Larique, représenté par la dolomie à Megalodus triqueter. Au-dessous vient directement l'étage œnique, formé, au sommet, de tufs verdâtres, à la base de calcaires à Amm. tridentinus et Halobia Lommeli, correspondant exactement aux calcaires de Poetschen dans le Salzkammergut.

En continuant à descendre, on arrive aux couches de Vezprem, qui sont des dolomies avec calcaires et marnes intercalés, et que caractérisent les Ammonites Attila et A. carinthiacus. La faune de ce système, très-voisine du muschelkalk par les brachiopodes, se rapproche au contraire du groupe œnique par les céphalopodes. Son équivalent exact en Tyrol est peut-être la dolomie de Mendola.

Au-dessous viennent le muschelkalk proprement dit, représenté, à Nagy-Vazsony, par la zone à Ammonites Studeri, puis les couches de Campile à Naticella costata, Ammonites Muchianus, A. Dalmatinus ; enfin les couches de Seiss à Posidonomya Clarai.

La question de savoir si les couches à Amm. Attila de Vezprem doivent être rangées dans le muschelkalk ou dans le groupe œnique est intéressante, car on sait que tandis que plusieurs géologues ne voient dans le muschelkalk alpin que l'équivalent du Wellenkalk de la Souabe, d'autres croient que la correspondance entre le muschelkalk de la région alpine et celui des autres contrées ne peut être établie que dans l'ensemble. A l'appui de la première opinion, on pourrait peut-être soutenir que les couches à Amm. Attila représentent l'équivalent si longtemps cherché du *muschelkalk principal;* malheureusement les preuves paléontologiques font encore défaut.

Étage rhétien.

ALLEMAGNE DU NORD. — D'après M. Brauns (2) l'étage rhétien, dans l'Allemagne du Nord, contient une faune, uniformément dis-

(1) *Jahrb. d. K. K. g. R.* XX, 93.
(2) *Neues Jahrb.* 1871, 969.

séminée dans tout l'étage, et qui lui est propre. Les vertébrés se relient intimement à la faune du trias et n'ont aucun rapport avec celle du Jura. Les mollusques présentent quelques espèces liasiques, mais aussi d'autres appartenant au trias inférieur, et leurs affinités les mieux marquées sont avec la faune triasique. Quant à la flore, elle est essentiellement propre à l'étage, mais elle se relie mieux au lias qu'au trias.

Suisse. — M. de Fischer-Ooster (1) a étudié la formation rhétienne aux environs du lac de Thoune, près de Merligen, où elle contient les Pecten Valoniensis, P. Falgeri, P. Hehli, Lima Valoniensis, Avicula sinemuriensis, Gervillia præcursor, Mytilus minutus, Plicatula intusstriata.

La même formation a été constatée par M. Ischer dans l'Oberlaubhorn, entre l'Iffigerthal et la vallée de la Lenk.

— D'après M. E. Favre (2), l'étage rhétien est bien représenté dans le massif du Moléson, où il est formé par un calcaire cristallin, dur, très-foncé, en bancs généralement peu épais et par un calcaire lumachelle, d'un gris plus clair, où l'on trouve les fossiles suivants : Belemnites, Ammonites, Mytilus minutus, Avicula contorta, Pecten Valoniensis, P. Falgeri, Plicatula intusstriata, P. Archiaci, Megalodon, Terebratula gregaria.

Ces couches rhétiennes sont la continuation de celles de la Savoie et des Alpes vaudoises. Elles se prolongent elles-mêmes dans la chaîne du Stockhorn.

TERRAIN JURASSIQUE.

Lias.

Angleterre. — Des travaux de chemins de fer ont mis à découvert, entre Bath et Mangotsfield, la base de l'étage du lias. M. Winwood (3) y a constaté la présence, au-dessous des couches à Lima et à Ammonites Bucklandi, des lits à Ostrea et à Amm. angulatus, qui font le plus souvent défaut dans le voisinage, en sorte que, dans ce dernier cas, les couches à Lima reposent directement sur l'étage rhétien.

(1) Ernest Favre. *Revue des travaux relatifs à la géol. de la Suisse.* 1872, 14.
(2) *Arch. des sciences de la bibl. univ. de Genève.* XXXIX, 169.
(3) *Geol. Mag.*, VIII, 427.

Les couches du lias inférieur ont été également observées dans le Yorkshire, par M. Blake (1), qui y reconnait, du haut en bas : 1° lit pierreux à Ammonites angulatus ; 2° argiles à Amm. Johnstoni ; 3° couche d'argile à Amm. planorbis ; 4° argiles et roches avec huîtres ; 5° argiles sans foraminifères, avec empreintes d'Anatina.

L'ensemble de cette faune a un caractère hettangien bien prononcé.

ANJOU. — M. Farge (2) a constaté que le lias existe en différents points du département de Maine-et-Loire, aux environs de Durtal, notamment à Lézigné, où l'on exploite un calcaire avec Ostrea irregularis, Spiriferina oxygona, Pentacrinus basaltiformis ; à Huillé, où le lias supérieur à Terebratula sarthacencis recouvre le lias moyen à Lima gigantea ; aux Montrieux, où l'on rencontre les Belemnites tripartus, Amm. bifrons, Terebratula numismalis ; enfin au Grip èt à Port-Ham, où s'observent les Belemnites irregularis, Lima gigantea.

ALLEMAGNE DU NORD. — M. Brauns (3) distingue, dans le lias de l'Allemagne du Nord, les étages suivants, en commençant par le plus élevé : 1. zone de l'Ammonites amalthæus ; 2. zone de l'Amm. Davoei ; 3. Z. de l'A. centaurus ; 4. Z. de l'A. Jamesoni ; 5. Z. de l'A. ziphus ; 6. Z. des Amm. arietes ; 7. Z. de l'A. angulatus ; 8. Z. de l'A. psilonotus.

Ces huit zones sont intimement liées les unes aux autres et constituent un tout bien défini, que M. Brauns appelle Jura inférieur. Presque tous les dépôts de ce groupe sont marins et littoraux. Cependant c'est surtout dans la partie supérieure que se développent les sédiments argileux ou marneux.

MOLÉSON. — En Suisse, le lias inférieur est représenté dans la chaîne du Moléson, où M. E. Favre (4) a constaté un lambeau du lias inférieur à Ammonites oxynotus, un calcaire du lias moyen à Belemnites paxillosus et Ammonites fimbriatus, enfin un calcaire marneux feuilleté à Amm. radians, A. annulatus, A. serpentinus et Posidonomya Bronni. Un très-riche gisement liasique, déjà signalé

(1) *Geol. Society*, 24 janvier 1872.
(2) *Ann. de la Soc. linnéenne de Maine-et-Loire*, V.
(3) *Neues Jahrb.*, 1871, 969.
(4) *Arch. des sciences de la bibl. univ. de Genève*, XXXIX, 169.

par M. Fischer-Ooster, est celui de Teysachaux, avec Ichtyosaures, poissons, nautiles et ammonites (A. cornucopiæ, A. serpentinus, A. annulatus, A. Desplacei).

Étage oolithique inférieur.

ANJOU. — M. Farge (1) a reconnu que le calcaire de la Rairie, près de Durtal (Maine-et-Loire), devait être rapporté à l'étage bajocien dont il contient plusieurs fossiles caractéristiques tels que Rhynchonella spinosa, Ammonites interruptus, Pleurotomaria variabilis, etc. Ce qui a pendant longtemps trompé les observateurs sur le véritable horizon de la Rairie, c'est que ce calcaire se trouve topographiquement inférieur au lias; mais ce phénomène est le résultat d'une faille parallèle au bord du bassin jurassique.

JURA DÔLOIS. — D'après M. Jourdy (2), l'étage bajocien, aux environs de Dôle, présente les divisions suivantes :

A la base on observe une couche calcaire à fucoïdes, avec Rhynchonella cynocephala, Pecten pumilus, etc., surmontée par l'oolithe ferrugineuse exploitée à Ougney et que couronne un calcaire jaune rougeâtre.

Au-dessus vient le calcaire lédonien ou à entroques.

Enfin, le sommet de l'étage est constitué par les calcaires à chailles et à polypiers.

L'étage bathonien présente dans la même région des faciès très-différents suivant les localités. M. Jourdy le divise en bathonien irisé, B. blanc et B. jaune. Le premier comprend les couches à Ammonites subfurcatus, Pholadomya Murchisonæ et Ostrea acuminata. Le second comprend les calcaires à oolithes cannabines de Sampans, l'oolithe subcrayeuse à spongiaires et nérinées, et le calcaire ruiniforme. Enfin le bathonien jaune débute par une assise à Ammonites subbackeriæ, Echinobrissus clunicularis, Terebratula digona, que surmonte l'argile à Terebratula coarctata et O. costata, couronnée par les couches à silex rubanés (dalle nacrée de Thurmann), avec Hemicidaris luciensis et Acrosalenia spinosa.

M. Jourdy (3) a remarqué que le bajocien et le bathonien dé-

(1) *Ann. de la Soc. linnéenne de Maine-et-Loire*, V.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 240.
(3) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 232.

butent l'un et l'autre par des couches très-ferrugineuses et se terminent par des calcaires blancs dépourvus de fer et riches en silex et en spongiaires, tandis que les céphalopodes caractérisent surtout les assises ferrugineuses de la base.

France méridionale. — M. Dumortier (1) a constaté que les Ammonites viator et A. tripartitus, dont le niveau avait paru jusqu'ici très-incertain, appartiennent aux couches les plus élevées du bajocien, mais ne s'y montrent que dans les contrées où ces couches présentent un faciès alpin. Dans tous ces gisements, les deux ammonites sont accompagnées par le Cancellophycus (Chondrites) scoparius. Dans tous les gisements à faciès jurassien, au contraire, le C. scoparius se trouve à la base du bajocien, dans la zone à A. Murchisonæ.

On sait d'ailleurs, d'après des observations diverses, que le C. scoparius se retrouve aussi dans le bathonien et peut même monter jusque dans l'oxfordien.

Provence. — M. Dieulafait (2) a constaté que, dans la Provence, l'étage de la grande oolithe présentait de grandes différences suivant que l'on considérait le bassin de la Durance ou celui de la Méditerranée. Dans le premier de ces bassins, la grande oolithe est marneuse et renferme de belles ammonites. Dans le second, on trouve deux facies distincts de part et d'autre du méridien de Lorgues (Var). A l'ouest, ce sont des marnes, des calcaires marneux et des calcaires grumeleux renfermant la faune de Ranville; à l'est, ce sont des sédiments marneux avec des coquilles bivalves et des huîtres de petite taille.

En revanche, au-dessus du niveau de Ranville, la composition de la grande oolithe supérieure est constante dans toute la Provence : elle est formée de calcaires à débris d'oursins, d'encrines et de bryozoaires.

Moléson.—En Suisse, M. Ernest Favre (3) a décrit l'étage oolithique inférieur dans le massif du Moléson. Cet étage débute par des marnes foncées avec Ammonites opalinus, A. Murchisonæ, A. tatricus, au-dessus desquelles vient une puissante formation de calcaires marneux et de marnes schisteuses rougeâtres, avec Be-

(1) *Bull. Soc géol.*, XXIX, 148.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 76.
(3) *Arch. des sciences de la bibl. de Genève*, XXXIX, 169.

lemnites hastatus, Ammonites subobtusus, A. ooliticus, A. polymorphus, A. discus, A. Bakeriæ, A. viator, A. anceps, A. coronatus, Posidonomya alpina. Sans pouvoir affirmer l'association intime de tous ces fossiles qu'on recueille le plus souvent au pied d'escarpements abruptes, M. Favre affirme avoir trouvé dans la même couche les A. Humphriesianus, subobtusus, tripartitus et viator, d'une part, et les Amm. polymorphus, Puschi et tripartitus, d'autre part.

JURA BÂLOIS. — On doit à M. A. Muller (1) une étude détaillée du cornbrash dans le Jura bâlois : ce terrain a 15 ou 20 mètres d'épaisseur, y compris la couche à Ammonites macrocephalus que l'auteur comprend dans ce système bien qu'elle soit généralement rangée dans le Callovien.

L'étage supérieur, ou couches à Rhynchonella varians, comprend : 1° calcaires ferrugineux oolithiques à Ammonites macrocephalus, A. triplicatus ; 2° calcaires argileux gris à Ostrea Knorrii, Mytilus bipartitus, Rhynchonella varians.

On distingue dans l'étage moyen : 1° calcaires à Gervillia Andreæ, Trigonia costata, Lima proboscidea ; 2° calcaires oolithiques jaunes à Holectypus depressus, Dysaster analis.

Enfin l'étage inférieur comprend : 1° oolithe à Clypeus patella, Ammonites Parkinsoni, Nucleolites clunicularis ; 2° calcaires à Terebratula maxillata, Nerinea Bruckneri.

Il est à remarquer que le cornbrash, entendu de cette façon, correspond, non-seulement au cornbrash anglais, mais à toute la grande oolithe.

Étage oolithique supérieur.

BOULONNAIS. — M. H. E. Sauvage (2) a étudié un reptile mosasaurien, le Leiodon primævum, trouvé dans les argiles kimméridiennes et dans les marnes portlandiennes des falaises de Boulogne-sur-Mer. Jusqu'à présent le genre Leiodon n'avait été trouvé que dans la craie, et les plus anciens mosasauriens connus étaient ceux des couches de Solenhofen.

---

(1) Ernest Favre. *Revue des travaux relatifs à la géologie de la Suisse*. 1872, 83.

(2) *Comptes rendus*, 10 juillet 1871.

JURA DÔLOIS. — M. Jourdy (1) a insisté sur la grande variabilité de l'étage argovien dans les environs de Dôle. Cet étage y présente deux facies littoraux et un facies pélagique. Près d'Amange et d'Authume, les marnes de Dôle, qui forment la partie supérieure, reposent sur une couche à Megerlea pectunculus, surmontant un calcaire à fausses chailles. A Dôle même, les marnes supérieures, contenant l'Ammonites canaliculatus, reposent sur des calcaires à entroques, des calcaires terreux, des calcaires à lamelles spathiques. Enfin, au sud et à l'ouest, le facies pélagique comprend seulement des marnes à Amm. canaliculatus et des marnes bleues à ammonites dont les fossiles ont des affinités assez marquées avec ceux des étages kimméridien et portlandien.

L'argovien n'est du reste, pour M. Jourdy (2), qu'un sous-étage dans un ensemble de couches s'étendant depuis le callovien jusqu'au corallien, et qu'il appelle l'étage oxfordien. Cet étage débute par les minerais et les marnes à céphalopodes et les calcaires marneux de l'oxfordien proprement dit et, par l'intermédiaire des couches à spongiaires, zoophytes et silex de l'argovien, arrive aux calcaires oolithiques blancs, avec espèces coralligènes, du corallien.

ESPAGNE. — M. d'Orueta (3) a reconnu la présence de l'étage jurassique supérieur à Antequera, près de Malaga : les fossiles recueillis se rapportent au portlandien. Au pied du Torcal se trouve un grès contenant en abondance les Gryphæa virgula et Ostrea deltoïdea. Au-dessus de ce grès, et séparé de lui par des calcaires, existe un dépôt tendre et calcaire contenant un fossile que l'auteur identifie avec la Terebratula diphya.

MOLÉSON. — D'après M. Ernest Favre (4), le terrain oolithique supérieur des environs du Moléson présente des caractères fort différents suivant qu'on l'observe au Niremont, dans la chaîne des Verreaux, ou à Wimmis. Dans le premier cas, on trouve, au-dessous du néocomien alpin, une marne à crinoïdes, recouvrant le calcaire de Châtel à Terebratula janitor, Amm. acanthicus, A. bimammatus, A. tortisulcatus. Aux Verreaux, le néocomien alpin repose sur la couche à Terebratula Catulloi, qui recouvre le calcaire gris à Aptychus, auquel les calcaires bré-

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 247.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 287.
(3) *Geol. Society*, 7 février 1872.
(4) *Arch. des sciences de la bibl. univ. de Genève*, XXXIX, 169.

choïdes rouges de l'oxfordien servent de base. Enfin, à Wimmis, cet ensemble est représenté par un calcaire corallien à nérinées et dicérates, recouvrant un calcaire noir kimméridien à mytilus et ptérocères et un calcaire bréchoïde sans fossiles.

La marne à crinoïdes du Niremont renferme une faune très-riche composée d'espèces nouvelles, parmi lesquelles une belle série de crinoïdes d'apparence jurassique : ce système présente beaucoup d'analogie avec les couches à crinoïdes de Nikolsburg en Moravie.

ULM.—M. Guembel (1) a décrit le gisement de la célèbre pierre à ciment d'Ulm, en Bavière (2). Ce gisement se trouve à Blaubeuren, près d'Ulm, dans des calcaires marneux subordonnés à l'étage des schistes lithographiques de Solenhofen. Les nombreux fossiles recueillis dans cet étage, tels que Pteroceras Oceani, Exogyra virgula, Pinna ampla, Pholadomya donacina, Astarte supracorallina, Nerinea suprajurensis, Diceras speciosum, fixent son niveau d'une manière certaine à la hauteur de l'argile de Kimmeridge et non, comme on le croit souvent, sur l'horizon du portlandien.

Limite supérieure du terrain jurassique. — Étage tithonique.

Plus que jamais la question de la limite supérieure du terrain jurassique est à l'ordre du jour, et nous avons à enregistrer cette année un nombre considérable de travaux, dont plusieurs, sans amener encore une solution décisive, ont fait faire à la question des pas importants. On sait que le point principal du débat est celui-ci : dans le midi de la France, dans la région des Alpes et, en général, dans les contrées où le terrain jurassique et le terrain néocomien s'écartent de leur facies anglo-parisien, y a-t-il entre le néocomien et l'oxfordien une lacune complète, ou bien les formations intermédiaires existent-elles, avec une faune offrant une transition graduelle entre les types jurassiques et les types crétacés? Nous allons passer en revue les solutions que les divers auteurs donnent à cette question capitale.

DAUPHINÉ. PROVENCE. — M. Hébert (3) admet qu'à l'époque

---

(1) *Sitzungsberichte d. K. Ak. d. W. in München*, 1871.
(2) Delesse. *Rapport sur les matériaux de construction de l'Exposition universelle de* 1855.
(3) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 158.

néocomienne, la région de la Drôme et du nord des Basses-Alpes formait un bassin dont le fond était constitué par les calcaires oxfordiens : de cette façon, les premières couches néocomiennes se seraient déposées directement sur l'oxfordien, et ce serait le néocomien supérieur seul qui aurait pu, en dépassant les bords relevés du bassin, recouvrir les calcaires à Terebratula moravica.

M. Vélain (1) classe dans l'argovien ou oxfordien supérieur la zone à Ammonites tenuilobatus et A. iphicerus. Les calcaires qui contiennent cette faune sont couronnés, dans une grande partie du midi, par des brèches calcaires avec Ammonites ptychoïcus et Terebratula janitor. M. Vélain est disposé à comprendre ces brèches, avec les calcaires marneux lithographiques à Terebratula janitor, qui les surmontent, dans le terrain néocomien, et il repousse toute liaison entre cet ensemble et les couches à Terebratula moravica.

Calcaires blancs de la Provence.

— Les calcaires blancs à Diceras de Rians, d'Escragnolles, de Grasses, d'Antibes et de Nice, considérés par M. Coquand comme l'équivalent du Klippenkalk des Carpathes et des couches coralliennes du mont Salève et de Wimmis, reposent sur des dolomies qui elles-mêmes sont superposées à un calcaire plus ou moins marneux, passant quelquefois à une véritable argile avec céromyes, pholadomyes et huîtres. La faune de ces argiles, développées à Valbonne, avait été considérée par d'Orbigny, puis par M. Coquand, comme kimméridienne ; mais alors il devenait impossible de maintenir les calcaires blancs dans l'étage séquanien. Or M. Dieulafait (2), d'un côté, et M. Coquand (3), de l'autre, ont constaté que la faune de Valbonne est en réalité bathonienne, soit de la grande oolithe, soit du cornbrash. Les dolomies représenteraient donc les étages callovien, oxfordien et corallien proprement dits, et rien ne s'oppose plus au maintien des calcaires à Diceras dans l'étage du calcaire à astartes.

D'un autre côté, ces calcaires ayant été rapportés par divers auteurs à l'étage des calcaires crétacés à Requienia, M. Coquand a tenu à démontrer qu'ils étaient toujours inférieurs au néocomien. Ainsi, près de Nice, à Notre-Dame de Bon-Voyage, les calcaires blancs à Diceras supportent le valanginien à Natica Levia-

(1) *Bull Soc. géol.*, XXIX, 129.
(2) *Bull Soc. géol.*, XXVIII, 76.
(3) *Bull, Soc. géol.*, XXVIII, 208.

than; mais l'identité des deux roches est telle qu'il est très-difficile de les distinguer. Ailleurs, une galerie à travers bancs a montré les calcaires blancs s'enfonçant sous le néocomien à Belemnites subfusiformis.

Mais si les calcaires blancs, équivalents du Klippenkalk d'Innwald et de Wimmis, représentent le corallien supérieur ou le séquanien d'Angoulins, les calcaires à Terebratula diphya ou janitor, qui forment la base de l'étage tithonique, sont nécessairement antérieurs au séquanien. M. Coquand croit devoir les rapporter à l'argovien, c'est-à-dire à l'oxfordien supérieur. Par suite, l'étage tithonique tout entier rentrerait dans la base de l'étage jurassique supérieur et, loin de représenter une époque postportlandienne, il serait antérieur aux assises à Ostrea virgula.

LANGUEDOC. LA VALETTE — D'après M. Dieulafait (1), les calcaires gris de la Valette, près de Montpellier, contiennent la Rhynchonella peregrina qui, dans la Drôme, caractérise la partie moyenne des calcaires à Ancyloceras de Barrême : or les calcaires à Ancyloceras et les calcaires à Chama n'étant que deux facies différents d'un même étage, M. Dieulafait en conclut que les calcaires gris de la Valette appartiennent à l'étage des calcaires à Chama.

Telle n'est pas cependant l'opinion de M. de Rouville (2) qui, en comparant les calcaires gris à serpules et à Rhynchonella peregrina avec les couches à Terebratula diphya de l'Hérault et du Gard, a été amené à les considérer comme formant un groupe distinct et inférieur à l'horizon du calcaire à spatangues, fort au-dessous des bélemnites plates et à la hauteur de l'horizon de Berrias.

Quant aux calcaires blancs de la Valette, dont une partie, au moins, est rapportée par M. Dieulafait à l'étage des calcaires néocomiens à Chama, M. de Rouville persiste à les considérer comme coralliens.

SAVOIE et DAUPHINÉ. LÉMENC. — M. Pillet (3) annonce qu'il a observé au Lémenc, près de Chambéry, entre les calcaires à Terebratula janitor et les couches à Ammonites tenuilobatus, une zone caractérisée par la vraie Terebratula diphya : cette zone ne

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 80.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 18.
(3) *Arch. des sciences de la bibl. univ. de Genève*. Octobre 1871.

renfermerait aucun fossile néocomien, et devrait être rapportée au corallien inférieur, tandis que le calcaire à Terebratula janitor, renfermant un mélange de fossiles coralliens et néocomiens, correspondrait au corallien supérieur et passerait aux marnes de Berrias. M. Pillet considérant d'ailleurs les couches à Ammonites tenuilobatus comme oxfordiennes, le tithonique se trouverait ainsi tout entier compris dans l'étage corallien.

Talloires. — M. Ébray (1), ayant observé que la brèche d'Aisy n'est pas un accident local et qu'elle se rencontre partout au-dessus des couches à térébratules perforées, comme à Cirin au-dessus des couches portlandiennes et des calcaires lithographiques à gryphées virgules, en a conclu que cette brèche formait la véritable limite entre le néocomien et le jurassique, et que, par suite, les couches à Terebratula janitor, comme celles de Berrias à T. diphyoïdes, devaient représenter le Kimméridien. A l'appui de cette manière de voir, M. Ébray fait valoir la découverte qu'il a faite à Talloires (Haute-Savoie) de la Terebratula janitor, en compagnie d'espèces kimméridiennes telles que Amm. Lallierianus, A. orthoceras, A. eupalus. Ces déterminations ont été entièrement confirmées par M. Pictet qui a reconnu, en outre, parmi les espèces associées, les Amm. trachynotus et A. iphicerus.

Ajoutons qu'à Talloires les calcaires à Terebratula janitor, tout à fait semblables à ceux de la Porte-de-France, sont recouverts par d'autres calcaires que couronne une brèche.

L'Échaillon. — Une importante observation a été faite sur les calcaires de l'Échaillon par MM. Lory et Vallet (2). Après avoir constaté que les affleurements de ces calcaires font bien nettement partie de la chaîne du Jura, ils ont constaté qu'au-dessous de ces calcaires, il existe une dolomie semblable à celle qui sert de base au vrai corallien, au mont du Chat et aux environs de Nantua et de Belley ; et qu'au-dessus des mêmes calcaires on retrouve plus de 100 mètres de calcaires compactes présentant tout à fait l'aspect des dépôts purbeckiens du Jura, et ne ressemblant en rien aux calcaires valanginiens. Enfin les couches d'eau douce à fossiles purbeckiens s'observent, à la Crusille et au Banchet, bien au-dessus des calcaires à facies corallien, prolongements directs

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 137.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 40.

de l'Échaillon. Il est donc impossible de faire sortir les calcaires de l'Echaillon de la série jurassique, et peut-être même ne forment-ils qu'un facies local du corallien à Diceras arietinum.

Jura Suisse. — M. Hébert ayant publié un écrit contre les tendances des continuateurs d'Oppel à propos de la question de l'étage tithonique, M. Zittel (1), dont le nom est déjà attaché à d'importants travaux sur la faune des calcaires de Stramberg, a répondu en faisant connaître de nouvelles et très-intéressantes observations faites dans le Jura bernois

L'auteur rappelle d'abord que l'étage oxfordien supérieur, dans le midi de la France, tel que le comprennent M. Hébert et la plupart des géologues français, est représenté par les calcaires marneux à Amm. iphicerus et A. tenuilobatus. Or il est à remarquer que, partout où l'étage corallien à Diceras arietinum est développé, les couches à A. tenuilobatus font défaut. Le corallien à glypticus et cidaris du Jura repose partout sur des calcaires à p[illegible]domyes et des marnes à A. cordatus et A. plicatilis. Dans le Jura bernois, comme dans le Doubs et la Haute-Saône, ce corallien est recouvert par l'étage astartien.

Mais l'étage astartien ne se trouve jamais non plus là où les couches à A. tenuilobatus existent. Ces deux systèmes seraient-ils donc équivalents, comme le croyait M. Moesch?

M. Zittel n'en doute pas, et il cite à l'appui la coupe qu'on observe entre l'Argovie et Soleure, aux environs de Wangen et d'Oberbuchsiten. Là, le terrain astartien bien développé et bien caractérisé contient de nombreuses ammonites de la zone à A. tenuilobatus, telles que A. iphicerus, A. polyplocus, etc. De plus, ces couches reposent sur des bancs à Natica hemisphærica qui, par l'intermédiaire d'oolithe à sauriens et à nérinées, recouvrent les marnes à Glypticus hieroglyphicus et Cidaris florigemma. Ainsi, les dépôts d'Oberbuchsiten, incontestablement supérieurs au corallien, contiennent la faune astartienne et celle des couches à A. tenuilobatus. Que faut-il en conclure, si ce n'est que le prétendu oxfordien du midi de la France n'est autre que de l'astartien, c'est-à-dire la base de l'étage kimméridien, et qu'ainsi se trouve comblée une bonne partie de la lacune qui, d'après M. Hébert, séparerait le néocomien du jurassique moyen dans les contrées méditerranéennes? Quant aux couches à térébratules

(1) *Jahrb. d. K. K. g. R.* 1872, n° 7.

trouées, M. Zittel maintient qu'elles ne peuvent pas toutes appartenir à la craie, puisque M. Neumayr a trouvé, en Transylvanie, la Terebratula janitor au milieu des couches à A. tenuilobatus.

Enfin M. Zittel ne saurait admettre que les espèces jurassiques rencontrées dans les Carpathes puissent être des espèces antérieures au terrain qui les contient et remaniées par lui, comme le croit M. Hébert. Il serait étrange, en effet, que ce remaniement, si rare en géologie, se fût opéré sur toute la ligne des Carpathes, des Alpes, et des Apennins (où M. Gemmellaro signale l'A. iphicerus dans le tithonique de la Sicile) et plus étrange encore que les espèces remaniées appartinssent uniformément aux couches à A. tenuilobatus.

M. Zittel ne voit pas d'inconvénient à ce que les mots kimméridien et portlandien soient appliqués dans la région des Alpes, pourvu que ce soit avec certitude. Jusqu'à ce que les équivalences aient été bien précisées, il lui paraît convenable de conserver la dénomination de tithonique.

M. Tombeck (1) est arrivé, relativement à la couche à Ammonites tenuilobatus, à la même conclusion que M. Zittel. Il se fonde sur ce fait que l'A. tenuilobatus se rencontre toujours au-dessus de l'A. marantianus : or cette dernière espèce est incontestablement corallienne dans la vallée de la Marne; l'autre appartient donc, soit au calcaire à astartes, soit aux couches immédiatement inférieures.

ALGÉRIE. — M. Péron (2) a observé, dans le sud de la province de Constantine, la présence constante des calcaires à Terebratula janitor au-dessus des couches oxfordiennes et au-dessous des marnes néocomiennes à Belemnites latus. La faune des couches à Terebratula janitor est celle des calcaires de Berrias, tandis qu'elle n'a rien de commun avec celle des couches séquaniennes voisines à Cidaris glandifera. M. Péron en conclut donc qu'en Afrique, l'étage tithonique ou à Terebratula janitor appartient, comme le croit M. Hébert pour la Porte-de-France, à l'étage néocomien, et que dans cette contrée comme à Grenoble, il y a une lacune entre le néocomien et l'oxfordien.

Cependant M. Péron reconnaît qu'entre l'oxfordien et les couches à T. janitor, il existe un système de couches sans fossiles : ce système, selon M. Bayan (3), pourrait parfaitement représenter

---

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 15.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 180.
(3) *Bull. Soc. géol.* XXIX, 200.

tout au moins le séquanien, et il n'y aurait aucun argument à tirer de son défaut d'identité avec les gisements du Cidaris glandifera, car ces derniers ont le caractère de récifs et ne sont pas des dépôts pélagiques.

De plus, M. Bayan croit que la probabilité, déjà faible à Grenoble, d'une lacune aussi étendue entre des formations si concordantes qu'il semble y avoir passage de l'une à l'autre, diminue beaucoup à mesure que le nombre des gisements semblables à celui de Grenoble s'accroît. Or, aujourd'hui, l'existence des couches à T. janitor entre la zone à A. transversarius et l'étage des bélemnites plates, est un fait si général qu'on peut le regarder comme caractérisant le facies normal de la jonction du terrain crétacé et du terrain jurassique.

TERRAIN CRÉTACÉ INFÉRIEUR.

FOLKESTONE. — En Angleterre, M. Carruthers (1) a étudié des fruits de conifères fossiles provenant du gault de Folkestone : le premier appartient à un pin, Pinites hexagonus ; le second est un cône de Sequoia, Sequoiites ovalis. Les restes de Sequoia n'ont pas encore été rencontrés dans les dépôts antérieurs au gault : et il est remarquable que la première fois que cette famille fait son apparition, ce soit en compagnie du même groupe de pins qui fleurit maintenant à ses côtés dans le Nouveau-Monde.

GARD. — En France, M. de Rouville (2) s'est chargé de la publication de divers travaux inédits d'Émilien Dumas, et notamment de ceux qui se rapportent aux terrains crétacés du Gard. Dans l'opinion d'Em. Dumas, le terrain néocomien, comprenant l'étage inférieur (Valanginien), l'étage des bélemnites plates, celui du calcaire à céphalopodes et à spatangoïdes, enfin celui des calcaires à Requienia, est nettement séparé de l'étage aptien, qui le recouvre le plus souvent en discordance et qui se relie intimement au groupe du grès vert.

Dans la partie inférieure de ce dernier groupe, Em. Dumas distingue les marnes à plicatules (Aptien), le gault inférieur à Orbitolina lenticulata et le gault proprement dit (Albien).

---

(1) *Geol. Mag.*, VIII, 540.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 116.

PYRÉNÉES ET CORBIÈRES. — M. Magnan (1) a décrit le terrain crétacé inférieur dans la région pyrénéenne. Il y distingue trois groupes : l'étage néocomien, l'étage urgo-aptien et l'étage albien.

Le premier, intimement lié au groupe oolithique supérieur, présente 200 ou 400 mètres de puissance. A la base sont des calcaires gris, souvent dolomitiques, à Caprotina Lonsdalii; à la partie supérieure on observe des calcaires compactes, marmoréens, plus foncés que les précédents, où les caprotines sont associées aux nérinées et aux Terebratula sella, Cidaris Pyrenaïca, polypiers, etc.

L'étage urgo-aptien, épais de 200 à 250 mètres, comprend : à la base, des calcaires à serpules avec Ostrea aquila et Orbitolines, puis des calcschistes avec Echinospatangus Collegnii et Plicatula placunæa ; à la partie supérieure des calcaires jaunâtres avec lumachelle, des calcaires compactes à Caprotina Lonsdalii, très-semblables à ceux du néocomien, et des calcaires divers à Ostrea macroptera, O. Boussingaulti, et nombreux brachiopodes (Rhynchonella lata, R. depressa, Terebratula sella, T. tamarindus, T. Moutoniana).

Il est à remarquer que, d'après cette classification, la Caprotina Lonsdalii se retrouverait à la fois dans le néocomien, dans l'urgo-aptien et même dans l'albien, sur une hauteur verticale de 1.500 mètres. Cependant M. Hébert (2) n'admet pas, jusqu'à nouvel ordre, cette récurrence des caprotines, et croit que M. Magnan a été induit en erreur par des failles.

D'après M. H. Magnan (3), le gault ou étage albien aurait une puissance considérable dans les Corbières, les Pyrénées-Orientales et la Haute-Garonne : cet étage y repose directement sur les couches aptiennes à Ostrea aquila, Orbitolina discoïdea, O. conoidea, lesquelles recouvrent à leur tour les calcaires marmoréens à nérinées, caprotines et Terebratula sella du néocomien.

Le gault, tel que le définit M. Magnan, comprend : 1° à la base, des calcschistes et des schistes noirâtres, avec calcaires tenaces, contenant : Belemnites minimus, Nucula bivirgata, N. pectinata, Plicatula radiola, mélangés avec quelques espèces aptiennes : Cidaris Pyrenaïca, Echinospatangus Collegnii ; puis plus haut, des fossiles albiens sans aucun mélange : Ammonites Milletianus, A. Mayorianus, Trigonia Fittoni, Pecten Dutemplei. L'épaisseur du système est de 500 mètres.

---

(1) *Mém. de la Soc. géol. de France*, 2ᵉ série, IX, n° 3.
(2) *Bull. Soc géol.*, XXIX, 163.
(3) *Mém. de la Soc. geol. de France*, 2ᵉ série, IX, n° 3.

2° Des calcaires compactes, gris et à caprotines indéterminables : puissance, environ 500 mètres.

3° Des schistes terreux, souvent comme ophitisés, avec bancs subordonnés de calcaires, sans fossiles.

Ce sont ces schistes que recouvrent en discordance les couches à fucoïdes de la craie cénomanienne.

M. Cayrol (1) a reconnu, comme M. Magnan, la présence du gault bien caractérisé dans les Corbières, notamment aux environs de Saint-Paul-de-Fenouillet et de Quillan. Toutefois, il n'admet nullement l'intercalation des calcaires à caprotines au milieu du gault. Selon lui, c'est une simple apparence produite par des failles, et c'est par une raison de même nature que M. Magnan aurait été conduit à donner à l'étage albien une puissance que M. Cayrol croit exagérée.

PERTE DU RHÔNE.— M. Grüner (2), inspecteur général des Mines, a étudié, comme nous l'avons déjà dit (3), les nodules de phosphorite contenus dans le gault de la Perte du Rhône. Ces nodules, au lieu d'être des concrétions comme ceux de la plupart des gisements du gault, sont les moules eux-mêmes des coquilles fossiles. Il en existe trois couches, ayant ensemble 1m,80 d'épaisseur : la couche supérieure contient les Amm. Beudanti, A. varicosus, Inoceramus sulcatus, In. concentricus. Dans la couche moyenne on trouve en outre les Amm. mammillatus et Nucula pectinata. Enfin la couche inférieure est caractérisée par les Amm. tardefurcatus A. Milletianus et Astarte Dupiniana.

TURQUIE. — M. de Hochstetter (4) a rencontré le terrain crétacé inférieur en Turquie, dans la région du Balkan, au sud de Nikopoli. On y trouve d'abord un calcaire gris avec Caprotina, Radiolites et Gastéropodes, puis au-dessous, à Jablonica, des calcschistes et des calcaires avec Belemnites subfusiformis, Ammonites Matheroni, A. Jeannoti, A. cryptoceras, A. Grasianus, Crioceras Duvalii.

TERRAIN CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

CAMBRIDGE.— En Angleterre, M. Bonney (5) a décrit les parti-

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 68.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 62.
(3) *Revue de géologie*. X, Phosphorite.
(4) *Jahrb. d. K. K. g. R.* XX, 1870.
(5) *Geologist's assoc.* Février 1872. — *Geol. Mag.*, IX, 143.

cularités que présente la marne chloritée ou grès vert supérieur des environs de Cambridge; c'est un dépôt épais tout au plus de $0^m,30$, reposant sur la surface ravinée du gault, et où les nodules de phosphorite sont contenus dans une gangue à grains verts, formée de marne crayeuse remplie de foraminifères, avec une forte proportion d'argile insoluble dans les acides. Les grains verts ont une composition assez différente de celle du minéral considéré comme type de la glauconie; ils ne paraissent pas avoir une origine organique. Quant aux nodules, ce sont de simples concrétions.

Parmi les fossiles qui établissent l'âge de ce dépôt, figurent des ptérodactyles et des tortues.

HAINAUT. — En Belgique, MM. Cornet et Briart (1) ont entrepris la description détaillée de la craie du Hainaut. L'étage débute par une formation que caractérise la silice gélatineuse et qui est connue sous le nom de meule de Bracquegnies ou de Bernissart; son épaisseur atteint 200 mètres; elle contient une faune très-voisine de celle de Black-down en Angleterre.

On y trouve les Turritella granulata, Ostrea conica, O. haliotidea, Janira æquicostata, Cardium hillanum, Avicula anomala.

Au-dessus vient le tourtia de Tournai et de Montignies-sur-Roc, contenant les fossiles du grès vert supérieur et du chalk-marl des Anglais. Quelques-unes de ces espèces se retrouvent dans la meule.

L'étage suivant est formé, à sa base, par la marne glauconieuse connue sous le nom de tourtia de Mons et de Valenciennes : sa faune est celle de la craie glauconieuse de France et du chalk-marl d'Angleterre; mais elle a très-peu d'espèces communes avec celle du tourtia de Tournai.

Au-dessus vient la craie à silex, couronnée par la craie grise, le poudingue et le tufau crayeux de Ciply.

LE BEAUSSET. — M. Aristide Toucas (2) s'est occupé de l'étude du terrain crétacé supérieur aux environs du Beausset (Var). Voici les divisions qu'il y établit, de haut en bas :

1. Dépôt lacustre de calcaire et marnes à Cyclas Galloprovincialis, Cyrena globosa, avec lignites.

(1) *Description min. et strat. du terrain crétacé du Hainaut*, par MM. Briart et Cornet.

(2) *Mém. de la Soc. géol. de France*, 2e série, IX, n° 4.

2. Sénonien moyen, comprenant : banc gréseux à Turritella Coquandi; couche marneuse à Cardita, Corbula, Venus; banc gréseux à Ostrea acutirostris; calcaire marneux à Sphærulites sinuata, S. Coquandi, Radiolites fissicostata, Requienia Toucasi, Orthopsis miliaris, etc.

3. Sénonien inférieur. — Marnes bleues à Ostrea spinosa, O. Matheroni. — Grès ferrugineux à Ostrea auricularis.

4. Turonien supérieur. — Calcaire marneux à Hippurites organisans, H. cornuvaccinum, Plagioptychus Toucasi ; calcaire gris à Hippurites cornuvaccinum ; calcaire marneux à Ostrea Caderensis, O. diluviana, Hippurites organisans, Sphærulites angeïodes.

5. Turonien moyen : grès à Rhynchonella Cuvieri, R. difformis, Ostrea vesiculosa, Cidaris pyrenaïca.

6. Turonien inférieur : calcaire gris à Micraster brevis, calcaire marneux à M. Matheroni, grès siliceux à débris d'échinides, calcaire gris compacte à Radiolites cornupastoris.

7. Zone à Hemiaster Verneuili : calcaire marneux.

8. Cénomanien supérieur : calcaire blanc compacte à Heterodiadema Lybicum et Janira quinquecostata.

9. Cénomanien moyen : calcaire marneux jaunâtre à Ostrea columba et O. biauriculata.

10. Cénomanien inférieur : calcaire et grès à Terebratula biplicata, Catopygus carinatus, Turrilites costatus.

Italie méridionale. — D'après M. Seguenza (1), il y a une liaison étroite entre tous les gisements de craie moyenne qu'on observe dans le sud de l'Italie. Les fossiles qu'on y trouve, et parmi lesquels les Amm. rotomagensis et A. mantelli se rencontrent associés à une masse d'huîtres, établissent l'intime connexité de la craie italienne avec celle de l'Afrique. Presque toutes les espèces observées en Calabre et en Sicile ont été décrites en Algérie par M. Coquand. Tout indique donc que, à l'époque de la craie moyenne, une même mer recouvrait à la fois le sud de l'Italie et le nord de l'Afrique.

Saxe. — M. le professeur H. B. Geinitz (2) a publié une importante description des fossiles du terrain crétacé de la vallée de l'Elbe en Saxe. Cet ouvrage est précédé d'un aperçu géologique dont il convient de donner un extrait.

---

(1) *Atti della Soc. ital. di sc. naturali*, X, 225.
(2) *Palaeontographica de Dunker et Zittel*, XX, 1871 et 1872.

La formation considérée par M. Geinitz est l'ensemble du grès dit *quadersandstein*, auquel est associé le *plæner*.

Le Quadersandstein inférieur est constitué par un grès présentant 5 à 6 mètres de bancs solides, exploitables, souvent accompagnés de conglomérats. Il est fréquemment recouvert par un sable très-riche en serpules (Serpula plexus). Il n'est pas rare que le grès ou le sable soient chargés de glauconie et passent à l'état de grès vert. A ce système appartiennent les schistes argileux, à plantes fossiles terrestres de Niederschoena.

Le plæner inférieur ne peut être séparé du quader qu'il recouvre. C'est généralement un grès à grain très-fin, argileux ou marneux, gris clair ou blanc sale, avec nombreuses taches foncées.

L'ensemble du quader et du plæner inférieur forme un seul étage géologique, correspondant au cénomanien des géologues français ou au tourtia des bassins houillers des Flandres et du Hainaut. Les principaux fossiles de ce groupe sont les Ostrea carinata, O. diluviana, O. hippopodium, Exogyra columba, E. haliotidea, E. sigmoïdea, E. lateralis, Pecten elongatus, P. æquicostatus, Pectunculus obsoletus, Spondylus striatus, Cerithium Bircki, Turritella granulata, Nerinea Geinitzi, Terebratulina phaseolina, T. striatula, Rhynchonella compressa, Cidaris vesiculosa, C. Sorigneti.

On voit souvent le quader inférieur, en bancs assez réguliers, occuper de véritables poches dans la syénite qui lui sert de base, par exemple au Frohbergs Burg et à la maison forestière près de Plauen. Au contact se développe une faune presque microscopique composée de gastéropodes très-ornés, de mollusques, de crinoïdes, de polypiers et de bryozoaires.

Le quader moyen et le plæner moyen débutent par une couche argileuse de plusieurs mètres d'épaisseur à laquelle succèdent des marnes et des grès caractérisés par l'Inoceramus labiatus. Dans la Suisse saxonne, cet étage est purement arénacé et constitue le *grès statuaire* de Cotta et de Rottwerusdorf, que la finesse de son grain fait rechercher pour l'architecture et la sculpture.

Le grès de Copitz sépare le quader moyen du plæner supérieur généralement calcaire et pouvant être considéré comme l'équivalent du grey chalk marl des Anglais.

Le quader supérieur est tantôt marneux, tantôt arénacé, et correspond par ses fossiles au sénonien inférieur. On y trouve les Spondylus spinosus et Inoceramus Brongniarti. M. Geinitz n'admet pas la manière de voir de M. Guembel, pour qui cet étage ne serait qu'une dépendance du plæner supérieur.

En résumé la succession des assises, de haut en bas, dans la vallée de l'Elbe, est la suivante :

III. *Étage supérieur ou quadersandstein supérieur* (sénonien).

b. Grès supérieur du Quader.
a. Marnes supérieures du Quader.

II. *Étage moyen ou Quader moyen* (turonien).

c. Plæner supérieur, souvent calcaire (couches de Strehlen et de Weinboehla, grey-chalk-marl, turonien supérieur).
b. Grès de Copitz (couches de Mallnitz en Bohême; chloritic marl de l'île de Wight).
a. Quader moyen (grès statuaire de Cotta) ou plæner moyen avec inoceramus labiatus (turonien inférieur).

I. *Étage inférieur ou Quader inférieur* (cénomanien, tourtia, grès vert supérieur).

b. Plæner inférieur et sable à serpules.
a. Quader inférieur et grès vert avec couches de Niederschoena, conglomérats, etc.

TURQUIE. — Au sud de Plewna, en Bulgarie, M. de Hochstetter (1) a observé un système de calcaires avec silex, partiellement dolomitiques et poreux. Il y a trouvé des débris d'Exogyra, Belemnites, Ananchytes, Rhynchonella; près de Schumla, les mêmes couches ont fourni : Ostrea vesicularis, Inoceramus labiatus, Pecten quinquecostatus, Exogyra columba, etc.

Les couches crétacées à Inoceramus se retrouvent dans la Thrace, aux environs de Jamboli et de Burgas, où elles alternent avec des nappes de conglomérats et de tufs pyroxéniques dont les éruptions se sont prolongées jusqu'à l'époque miocène.

NEBRASKA. — Dans l'Amérique du Nord, d'après M. Hayden (2), la formation crétacée du Nebraska comprend, de haut en bas, les étages suivants :

1. Couches de Foxhill : grès gris ou jaunâtre, ferrugineux et argiles sableuses à Belemnitella bulbosa, Mosasaurus missouriensis, etc. (170 mètres.)

2. Groupe du Fort-Pierre : les argiles plastiques dominent; elles

---

(1) *Jahrb. d. K. K. g. R* XX, 1870.
(2) *Geological report of the exploration of Yellowstone and Missouri rivers.* Washington, 1869.

contiennent vers leur base des substances carbonées, du gypse, de la pyrite et des écailles de poissons. Puissance : 230 mètres.

3. Groupe du Niobrara : marnes calcaires à Ostrea congesta, passant en bas à un calcaire avec Inoceramus labiatus. Puissance : 70 mètres.

4. Groupe du Fort-Benton : argiles feuilletées avec calcaires, à Inoceramus labiatus. 260 mètres.

5. Groupe de Dakota : grès jaune ou rougeâtre, avec argile bigarrée et quelques couches de lignite.

L'étage n° 5 correspond au cénomanien, comme M. Heer l'avait déjà conclu de l'étude des végétaux fossiles. Le turonien comprend les groupes 3 et 4 et les deux premiers étages se rapportent au sénonien ou Quadersandstein supérieur.

TERRAINS NÉOZOÏQUES.

TERRAIN TERTIAIRE.

Étage éocène.

CHÂTEAU-LANDON. — En France, M. Douvillé (1) a précisé la position occupée par le calcaire de Château-Landon. Déjà M. de Sénarmont avait montré que ce calcaire était inférieur aux sables de Fontainebleau. De nouvelles observations ont fait reconnaître qu'il se relie d'une manière continue aux calcaires fétides, rosés ou bleuâtres, avec silex cacholongs, qui, dans les environs de Fontainebleau, représentent l'étage de la Brie. Mais tandis que, dans cette région, le calcaire de la Brie est séparé par des marnes vertes du calcaire de Champigny, équivalent du gypse, les marnes vertes disparaissent dans la vallée du Loing et le calcaire de la Brie repose sur le calcaire de Champigny; bientôt ce dernier disparaît à son

---

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 52.

tour et le calcaire de Château-Landon est alors directement superposé à l'argile plastique.

Le calcaire fétide a été observé jusqu'à Montereau et même jusqu'à Provins. Partout il repose sur les marnes vertes; son niveau ne peut donc faire l'objet d'aucun doute.

SÉZANNE. — M. Munier-Chalmas (1) a découvert dans le travertin éocène de Sézanne, déjà connu par ses végétaux fossiles, une très-curieuse faune d'insectes et de crustacés qui présentent des affinités marquées avec les espèces actuelles du Brésil.

BORD ORIENTAL DU BASSIN PARISIEN. — M. de Lapparent (2) a appelé l'attention sur la transformation latérale de l'argile plastique à lignites en sables blancs avec galets lorsqu'on se rapproche du bord oriental du bassin parisien. Les grès à cyrènes de Molinchart près de Laon, équivalent des lignites du Soissonnais, se relient intimement aux sables blancs et aux poudingues de Monceau-les-Leups, superposés à la glauconie de la Fère et rappelant tout à fait le poudingue de Coye. Les sables blancs sont d'ailleurs très-semblables à ceux de Rilly : il paraît donc impossible de méconnaître que l'argile plastique présente partout la succession suivante, de haut en bas : 1° argile et lignites avec sables et calcaires lacustres; 2° sables blancs et poudingues (étage de Rilly); 3° glauconie et conglomérat de silex verts.

WURTEMBERG. — M. Fr. Würtenberger (3) a étudié la formation éocène dans le Klettgau; l'assise la plus ancienne est un limon à pisolites ferrugineuses qui remplit des fentes et des poches dans le calcaire jurassique sous-jacent. Au-dessus vient la mollasse inférieure, formée de marnes et de grès, contenant de nombreux végétaux fossiles. L'auteur en a recueilli 76 espèces, dont les plus fréquentes sont : Quercus Haidingeri, Dryandoïdes hakeæfolia, Carya Heeri. Cette mollasse correspond au gypse de Montmartre.

GRAN. — On doit à M. de Hantken (4) une description détaillée du bassin tertiaire à lignites des environs de Gran en Hongrie. Ce bassin appartient à l'étage éocène et comprend, de bas en

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 166.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 82.
(3) *Zeit. d. d. g. G.*, XXII, 471.
(4) *Jahrb der K. ungar. geol. Anstalt*, I, 1.

haut : 1° une formation d'eau douce avec lignites; 2° une formation saumâtre à cérithes; 3° une formation marine à nummulites.

La formation d'eau douce, dont l'épaisseur varie de 15 à 60 mètres, comprend du calcaire, de l'argile et des lits de lignites : le calcaire est riche en paludines et en graines de chara. La puissance des lits de combustible atteint 10 mètres en tout; la qualité du charbon est excellente : les fossiles qu'il contient démontrent qu'il s'est formé à la manière des tourbes de marais.

A cette formation sont associées quelques couches saumâtres à cyrènes avec Melanopsis buccinoïdea, Anodonta, Anomia, etc.

La formation saumâtre, puissante de 6 à 10 mètres, qui recouvre l'étage à lignites est caractérisée par la grande abondance des cérithes et des cyrènes. Le plus important des fossiles de cet horizon est le Cerithium striatum, associé aux C. calcaratum, Fusus polygonus, Fusus minax. Les nummulites font entièrement défaut.

La formation nummulitique, qui vient ensuite, est très-puissante : on y peut distinguer : 1° l'étage inférieur à mollusques, contenant une quantité de fragments de petites coquilles, mais très-peu de foraminifères; 2° l'étage à operculines, avec Operculina granulata, Nummulites subplanulata, Orbitoïdes dispensa; 3° l'étage à Nummulites Lucasana, avec Num. striata, N. perforata, Crassatella tumida et beaucoup de polypiers; 4° l'étage supérieur à mollusques, sans orbitoïdes, avec Strombus auriculatus, Fusus maximus, F. Noæ, Cerithium calcaratum, C. trochleare, C. semigranulosum, Nerita conoïdea, Corbula exarata, Lucina mutabilis, Nummulites striata, N. Ramondi; 5° l'étage des Nummulites Tchihatcheffi, avec N. complanata, Orbitoïdes papyracea, O. patellaris, Terebratulina tenuistriata.

Au-dessus de cet ensemble nettement éocène vient la formation oligocène, représentée par un étage marin inférieur à Clavulina Szaboi, un étage saumâtre à lignites, avec Cerithium margaritaceum et C. plicatum, enfin un étage marin supérieur avec Pectunculus obovatus et les mêmes cérithes que dans l'étage inférieur.

TURQUIE. — La formation éocène se rencontre, d'après M. de Hochstetter (1), dans le massif du Rhodope, en Roumélie. Sa base est formée par un conglomérat avec argile et sables parfois lacustres avec Viquesnelia lenticularis, Paludina, Unio, etc. Au sommet dominent les calcaires marins.

---

(1) *Jahrb. d. K. K. g. R.*, XX, 1870.

Des couches de lignite appartiennent à la zone inférieure et sont comparables aux couches lignitifères de Cosina dans l'Istrie, ainsi qu'à la formation éocène de Gran et d'Ofen en Hongrie.

Kiew. — En Russie, la formation éocène est représentée aux environs de Kiew par des quartzites (Buczac et Traktemirow) et par une argile bleue, dont les fossiles ont été examinés par M. K. Mayer et rapportés par lui à l'étage bartonien, équivalent des sables de Beauchamp.

M. de Koenen (1) ayant eu en sa possession une série de onze espèces fossiles de l'argile bleue de Kiew, y a reconnu cinq espèces du calcaire grossier, Ostrea gigantea, O. flabellula, Pecten solea, P. corneus, P. idoneus, Spondylus Buchii? Or les quartzites de Buczac sont inférieurs à l'argile bleue ; donc, il est vraisemblable que c'est à l'étage parisien, et non à celui des sables moyens, que ces quartzites devraient être rapportés : cette conclusion est d'ailleurs confirmée par l'examen des espèces de Buczac que M. de Koenen a eues entre les mains.

Bornéo.—Dans l'Océanie, M. Verbeek (2) a constaté avec certitude la présence de la formation nummulitique à Bornéo. Elle est formée d'un calcaire compacte, blanc jaunâtre, un peu marneux, rempli de nummulites, parmi lesquelles Numm. Biarritzensis et N. striata, et contenant aussi des gastéropodes et des échinodermes. Au-dessous se rencontre une nouvelle couche calcaire où les nummulites sont associées à des orbitolites (Orb. Fortisi).

Étage miocène.

Wurtemberg.— M. Fr. Würtenberger (3) distingue dans le miocène du Klettgau les assises suivantes :

1° A la base, la nagelfluhe à huîtres, caractérisée par l'Ostrea undata ; 2° le calcaire à turritelles, avec Turritella turris, Balanus Holgeri ; 3° le sable à mélanies, avec Melania Escheri, Planorbis solidus, Helix inflexa, Cinnamomum polymorphum et C. Scheuchzeri.

Ces trois formations, qui caractérisent un seul et même en-

(1) *Zeit. d. d. g. G.*, 1869, 587.
(2) *Neues Jahrbuch*. 1871, 1.
(3) *Zeit. d. d. g. G.*, XXII, 471.

semble marin, sont surmontées par la nagelfluhe à cailloux jurassiques, qui se distingue de la précédente en ce que ses éléments proviennent surtout du corallien et de l'oolithe de la Suisse occidentale, tandis que la première nagelfluhe contenait un mélange de roches cristallines et de cailloux empruntés aux terrains stratifiés.

ALLEMAGNE SEPTENTRIONALE. — M. de Kœnen (1) a étudié le terrain miocène du nord de l'Allemagne. Il a retrouvé l'argile micacée, non-seulement dans l'ouest du Schleswig-Holstein, mais encore dans le sud et l'est de cette région. De même la formation dite roche du Holstein n'a pas une circonscription différente de celle de l'argile micacée, dont elle doit être considérée comme une simple modification latérale.

M. de Kœnen a décrit les gastéropodes siphonostomes de ce terrain; sur 142 espèces, 35 p. 100 sont spéciales au miocène du nord de l'Allemagne, 55 p. 100 se trouvent dans le bassin de Vienne et autres districts miocènes typiques, 34. p. 100 dans le pliocène du sud de l'Europe, 10 p. 100 dans celui du nord de l'Europe, 10 p. 100 dans la faune actuelle, enfin 17,7 p. 100 se rencontrent déjà dans l'oligocène : en sorte que si le miocène du nord de l'Allemagne a plus d'affinité avec l'oligocène qu'avec le pliocène du sud européen, il en a plus avec le pliocène du crag anglais et du crag belge qu'avec l'oligocène.

AUTRICHE. — A mesure que les recherches de combustibles minéraux s'étendent et se multiplient dans le domaine de la monarchie austro-hongroise, on reconnaît l'existence des lignites miocènes en un très-grand nombre de points où leur importance n'avait pas encore été constatée. Ainsi M. Paul les a trouvés au nord de la Save, et M. Foetterle (2) les a reconnus au nord de la Croatie, près d'Ivanec, au milieu du système des couches à Congeria. Il n'est pas douteux que la formation lignitifère ne soit très-étendue dans la Croatie et l'Esclavonie et qu'elle ne doive jouer un rôle important dans ce pays quand le perfectionnement des communications aura rendu son exploitation plus facile.

— La flore des lignites de la vallée de Zsily en Transylvanie a été étudiée par M. Heer (3) : ces lignites appartiennent aux couches de Sotzka (marnes à cyrènes des Alpes bavaroises et du bas-

(1) *Sitzungsberichte der naturwissen. Gesellschaft zu Marburg.* 1871, 49.
(2) *Jahrb. d. K. K. g. R.* 1872, 145.
(3) *Jahrb. d. K. ungarischen geol. Anstalt.* 1872.

sin de Mayence). L'auteur signale les espèces suivantes : Osmunda lignitum, Glyptostrobus europæus, Laurus primigenia, Cinnamomum Scheuchzeri, Juglans Heerii, Myrica longifolia, Quercus elæna, etc.

TURQUIE.— Le terrain miocène est représenté en Bulgarie, d'après M. de Hochstetter (1), par plusieurs dépôts qu'il est facile d'identifier avec ceux du bassin de Vienne.

Ainsi l'étage sarmatique est représenté dans les vallées Wid et Osma, ainsi que dans la Dobrudscha. Le calcaire de la Leitha, riche en polypiers et autres fossiles (Pectunculus, etc.), s'observe auprès de Plewna. Enfin, dans la vallée Wid une argile bleue inférieure à ce calcaire contient des fossiles presque identiques avec ceux de l'argile de Baden près de Vienne; ce sont : Conus Dujardini, Rostellaria pes-pelicani, Turritella Vindobonensis, Cassis texta, Arca diluvii, Venus multilamella, Turbinolia duodecim-costata et un grand nombre de foraminifères.

Des couches miocènes se rencontrent aussi dans le bassin de l'Ergene, en Thrace : ce sont des calcaires et des marnes d'une grande épaisseur avec Corbula nucleus, Mytilus acutirostris, Congeria Brardi, etc.

Pour M. de Hochstetter, ces couches représentent le facies pontique de la formation miocène.

Enfin la côte de la mer de Marmara est formée par un calcaire miocène à facies sarmatique, contenant Mactra podolica et Ervilia podolica, que surmonte un calcaire d'eau douce à Melanopsis, Neritina, Paludina, etc. : ce calcaire caractérise ce que M. de Hochstetter appelle le facies levantin de l'étage sarmatique.

ALGÉRIE. — Le terrain miocène est assez complexe en Algérie, où M. Pomel (2) y distingue plusieurs étages. Le plus ancien est l'étage *cartennien*, de Cartenna ou Tenès, contenant tous les fossiles du bormidien de M. Pareto (3). M. Pomel le sépare nettement du tongrien où grès de Fontainebleau. En revanche il est porté à le croire synchronique du calcaire à astéries de la Gironde : or ce calcaire étant généralement reconnu comme l'équivalent du tongrien, l'opinion de M. Pomel se trouve ici en contradiction avec celle de la plupart des géologues. Quoi qu'il en soit, le cartennien

---

(1) *Jahrb. d. K. K. g. R.*, XX, 1870.
(2) *Le Sahara*. Alger, 1872.
(3) *Revue de géologie*, V, 197.

comprend des grès et poudingues à clypéastres, avec Amphiope, Schizobrissus cruciatus et des polypiers, puis des marnes à spongiaires très-abondants.

L'étage *helvétien*, qui vient ensuite et qui repose sur le précédent en discordance, est formé de marnes, d'argiles et de grès, de calcaires à nummulines, amphistégines, bryozoaires, clypéastres et mélobésies, de marnes bleues et enfin de grès à Ostrea crassissima, correspondant exactement aux faluns de la Touraine et à la mollasse de Béziers.

Le troisième étage, ou *sahélien* (de sahel, littoral), correspond au tortonien et au plaisancien des géologues italiens : il est formé de couches marneuses ou marno-sableuses, passant vers le haut à des mollasses : on y trouve les Ostrea cochlear, Ceratotrochus duodecimcostatus, des clypéastres, des spatangues et de nombreuses globigérines. Le caractère essentiel de cet étage est d'être confiné à la région du littoral, et de ne faire aucunement partie du massif de l'Atlas.

Étage pliocène.

IRLANDE.—M. Morch (1) a donné une liste détaillée des espèces trouvées dans le crag d'Islande : ces espèces sont au nombre de 61 et se rencontrent sur la côte septentrionale, à Hallbjarnastadir. Les unes sont déjà connues dans le crag ancien de l'Angleterre et de la Belgique : plusieurs vivent encore dans les régions arctiques, mais sont à l'état fossile dans le crag anglais.

La température, à l'époque du dépôt du crag d'Islande, paraît avoir été beaucoup plus douce sur la côte nord de cette île qu'elle ne l'est aujourd'hui. L'auteur attribue ce changement à une élévation générale du terrain, par suite de laquelle le grand courant équatorial aurait cessé d'arriver librement dans ces parages.

ALGÉRIE. — D'après M. Pomel (2), le terrain astien des géologues italiens est représenté en Algérie par des couches de grès et sables ayant la plus grande analogie avec les sables de l'Astésan ; la puissance de ce terrain atteint rarement 50 mètres. Il commence par un grès très-coquillier à Ostrea hippopus, Pecten maximus, Pectunculus pilosus, avec des débris d'une grande baleine : au-dessus viennent des sables à Hélix. (H. lactea, H. pyramidata?).

(1) *Geol. Mag.*, VIII, 391.
(2) *Le Sahara*. Alger, 1872.

Le terrain pliocène astien constitue, dans la province d'Oran, les plateaux de Mostaganem, les environs de Relizane, de Pérégaux, d'Arzew, de Msila et du cap Figalo. Il est fortement dénivelé et a même été considérablement relevé en beaucoup de points. Ce terrain ne pénètre pas dans la région de l'Atlas, et M. Pomel est porté à regarder comme miocène le prétendu pliocène de Constantine.

TERRAIN QUATERNAIRE.

ÉCOSSE. — Pour M. James Geikie (1) le Boulder-clay ou *Till* de l'Écosse est un dépôt formé, comme l'avait dit Agassiz, sous une immense mer de glace. D'abord la théorie des glaces flottantes ne rend nullement compte des conditions de dépôt du boulder-clay, et elle ne peut guère s'appliquer qu'aux graviers avec blocs erratiques, qui appartiennent à une époque plus récente. Quant à supposer que la mer a dû jouer un rôle dans le dépôt du boulder-clay, il faudrait admettre que le sol de l'Écosse eût été, à cette époque, considérablement déprimé, de telle sorte que les points où le till s'observe seraient devenus les affleurements littoraux des glaciers. Or si l'on remarque que le boulder-clay existe en certains points à 500 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer, on sera conduit à imaginer un enfoncement du sol tel que très-peu de points auraient pu rester émergés et que la portion du continent demeurée au-dessus des eaux eût été tout à fait impropre à porter de grands glaciers.

M. Geikie ne voit donc pas de difficulté à supposer que le boulder-clay s'est formé, au fond des masses mouvantes de glace, aux dépens des roches encaissantes : il admet d'ailleurs que ce dépôt a plus au moins pris part au mouvement de la glace superposée et qu'il a été, presque partout, fortement comprimé, poussé en avant et remanié par elle.

Des intercalations de sable et de graviers s'observent quelquefois dans le boulder-clay et il paraît assez difficile d'expliquer leur présence ; cependant M. Geikie remarque que c'est surtout dans les vallées qu'on les observe et qu'elles ont très-bien pu se former, à la manière des alluvions, dans les vallées secondaires où le glacier principal ne faisait pas sentir son action, passant simplement par-dessus la vallée tributaire sans enlever les dépôts qu'elle pouvait déjà contenir. A ce sujet, M. Geikie rappelle que plusieurs

(1) *Geol. Mag.*, VIII, 545 ; IX, 23.

vallées actuelles, creusées postérieurement à l'époque glaciaire, laissent voir sur leurs flancs de nombreuses sections de ravinements anciens, comblés ensuite par du boulder-clay et des graviers, à travers lesquels le cours d'eau actuel s'est ouvert un passage. Beaucoup de ces petites vallées anciennes ont été mises en évidence par des travaux de mines, alors que rien, au dehors, ne pouvait faire soupçonner leur existence. Enfin, quand les sables et graviers se rencontrent au milieu du boulder-clay des vallées principales, c'est avec des signes de compression et de remaniement si évidents qu'on peut les considérer comme les débris de nappes plus importantes que le glacier aurait arrachées à ses parois et emportées dans son cours.

Du reste, M. Geikie admet que l'époque glaciaire a eu des intervalles de climat tempéré suffisants pour faire disparaître momentanément la glace et la neige. Il ajoute que c'est à tort qu'on a considéré le boulder-clay comme dépourvu de fossiles : plusieurs fois en fonçant des puits de mines, on y a trouvé des ossements de mammifères, et il serait à désirer qu'on s'appliquât à les recueillir avec soin.

Après le dépôt du till ou boulder-clay, la grande calotte glaciaire disparut et le climat de l'Écosse devint tempéré : il y a lieu de croire que la retraite des glaciers vers l'intérieur avait commencé bien avant l'enfoncement de la contrée et qu'ils avaient déjà abandonné le bord de la mer en laissant çà et là sur le terrain leurs moraines terminales.

Pendant la période d'enfoncement qui suivit se déposèrent les sables et les graviers qui forment la série des Kames ou Eskers des côtes d'Écosse. Quand l'abaissement du sol fut devenu assez grand, les glaciers débouchèrent de nouveau dans la mer et la glace des côtes ainsi que celle des icebergs jonchèrent de blocs erratiques les flancs des Eskers.

Ensuite le sol se releva, et c'est à cette période que correspondent les dépôts d'argiles avec coquilles arctiques ; les changements survenus plus tard indiquent une amélioration graduelle du climat jusqu'à l'époque actuelle.

Angleterre. — Divers auteurs ont établi, dans le boulder-clay d'Angleterre, deux étages séparés par une couche de sables et de graviers. Tout en reconnaissant que cette distinction n'est pas suffisamment fondée, les sables étant souvent susceptibles de passer horizontalement à l'argile, M. Searles Wood junior (1) croit

(1) *Geol. Mag.*, VIII, 406.

devoir maintenir sa division des terrains glaciaires de la Grande-Bretagne en trois termes, inférieur, moyen et supérieur. En effet, l'étude du boulder-clay dans les comtés d'Essex, Suffolk et Norfolk, entreprise en commun avec M. Harmer, lui a démontré que le terrain glaciaire inférieur de l'est de l'Angleterre avait été fortement dénudé et raviné avant le dépôt des sables du glaciaire moyen, au point de former quelquefois des poches de 50 mètres de profondeur, dans lesquelles sont venus se déposer les sables, et après eux, le grand boulder-clay crayeux.

M. Wood est disposé à croire que le glaciaire inférieur n'est représenté que dans l'est de l'Angleterre.

Quant au boulder-clay, il le considère comme un dépôt formé sous des eaux marines, mais par de la glace se reliant à des glaciers continentaux.

M. de Rance (1) admet, pour le nord-ouest de l'Angleterre, la division des sables et graviers moyens, comme correspondant à une phase relativement chaude de la période glaciaire. Ces sables seraient le résidu de la fonte des glaces sous l'influence d'un été plus long que les précédents : c'est ainsi que ces sables peuvent contenir parfois des débris venant du sud, tandis que les blocs erratiques du boulder-clay viennent tous du nord.

M. E. Hull (2) est pleinement d'accord avec M. S. Wood sur la division de l'époque glaciaire en trois périodes.

La première est marquée par un soulèvement général de la terre ferme et du fond des mers, accompagné d'un froid intense qui détermine la formation de grands glaciers : la surface du nord de la Grande-Bretagne devait ressembler alors à ce qu'est actuellement le Groënland. A cette phase correspond le dépôt du boulder-clay inférieur de l'Écosse, du nord de l'Angleterre et d'une grande partie de l'Irlande, dépôt formé en majorité par la glace des glaciers.

Dans la deuxième phase, la terre s'abaisse d'une manière générale au point d'atteindre, dans l'Irlande, le pays de Galles et le Cumberland, un niveau inferieur de 400 mètres à son altitude actuelle. Le climat devient plus tempéré, il se dépose des sables et des graviers à coquilles marines, et les montagnes sont réduites à n'être plus que de petits archipels.

Enfin la troisième phase est caractérisée par un relèvement partiel du terrain, avec retour également partiel à un climat boréal, donnant naissance à des glaciers et à des glaces flottantes.

---

(1) *Geol. Mag.*, VIII, 412.
(2) *Geol. Mag.*, VIII, 294.

C'est alors que se dépose le boulder-clay supérieur, qui est généralement marin. Le climat s'adoucit peu à peu et devient le climat actuel.

Classification des dépôts superficiels en Angleterre.

La commission géologique d'Angleterre vient d'aborder la classification des dépôts superficiels, qui n'avaient pas été figurés dans la première édition de son travail. La division adoptée est la suivante :

1. Graviers à silex des vallées sèches et dépôts entraînés par les pluies.
2. Graviers et terre à briques des rivières.
3. Argile avec silex.
4. Terre à briques des plateaux.
5. Dépôts glaciaires, comprenant : 1° le boulder-clay ; 2° les sables et graviers.
6. Graviers avec galets.

Les relations chronologiques de ces six divisions sont encore un peu indécises, et ne pourront être fixées définitivement que quand ce travail, actuellement restreint à une seule feuille, aura été appliqué à l'ensemble de la Grande-Bretagne.

BASSIN DE LA SEINE.—M. Belgrand (1) est d'avis que le relief du bassin de la Seine est le résultat d'une grande érosion, due à des courants diluviens et non à l'action lente des agents atmosphériques. Il cite comme preuves : 1° l'orientation des lambeaux de sable de Fontainebleau restés à la surface des plateaux et tous dirigés du sud-est au nord-ouest ; 2° l'absence des restes des roches dures sur les plateaux mis à nu et même, la plupart du temps, au fond des vallées secondaires ; c'est dans les vallées principales qu'il faut aller chercher les débris de la table de grès qui recouvrait la formation des sables de Fontainebleau ; 3° la disposition du limon des plateaux en deux couches, l'une inférieure, grossière, l'autre supérieure, plus fine.

Postérieurement à ce grand phénomène diluvien, les cours d'eau de l'âge de pierre ont remanié les graviers de fond et les dépôts des hautes terrasses en les couvrant d'alluvions (diluvium rouge) et de limons de débordement (loess). La présence simultanée, dans les graviers, de l'hippopotame et du renne prouve, selon M. Bel-

(1) *Comptes rendus*, 16 mai 1870.

grand, que la température était plus uniformément répartie entre les diverses saisons : il est probable que la température moyenne ne dépassait pas 8°C en été, ce qui fixe la limite des neiges perpétuelles à 1.400 mètres ; donc l'époque quaternaire correspond bien à l'ère glaciaire.

Le premier creusement du bassin de la Seine aurait été déterminé, d'après M. Belgrand, conformément à la théorie de M. Élie de Beaumont, par le soulèvement des Alpes occidentales, et le ravinement de l'alluvion ancienne se serait ensuite produit sous l'influence du soulèvement des Alpes principales. Toutefois les géologues suisses n'admettent pas que l'alluvion ancienne ait été remaniée, et M. A. Favre (1) fait observer que cette alluvion, à sa sortie du lac de Genève, est constituée d'une façon incompatible avec l'idée d'un dépôt opéré brusquement.

PLATEAU CENTRAL. — M. Grüner (2) a confirmé les observations de MM. Delanoüe et Marçou relativement à l'existence d'anciens glaciers dans le massif du mont Dore. Il a de plus constaté, dans la vallée même du mont Dore, à la jonction entre cette vallée et celle qui descend du Puy Corde par la cascade du Quéreuilh, la présence d'une ancienne moraine consistant en un sable argileux avec de gros blocs, imparfaitement arrondis, de trachyte et de basalte. Les laves, les bombes volcaniques et les lapillis font entièrement défaut dans cette moraine. M. Grüner en conclut, comme l'avait fait M. Marcou, que la période glaciaire, en Auvergne, a précédé les éruptions volcaniques.

LANGUEDOC. — M. H. Magnan (3) a signalé l'existence, entre Castres et Castelnaudary, sur le flanc oriental de la Montagne Noire d'une dépression caractérisée par des terrasses de cailloux roulés ; le même fait se reproduit entre Castelnaudary et Carcassonne. M. Magnan y voit la preuve que la rivière de l'Agout était, à l'époque quaternaire, tributaire de la Méditerranée, à laquelle elle se rendait en contournant le massif de la Montagne Noire.

Comme l'a fait M. Belgrand pour le bassin de la Seine, M. H. Magnan admet, pour la région pyrénéenne, une grande action diluvienne, correspondant à la fonte d'immenses glaciers pliocènes, et ayant eu pour conséquence la formation du

(1) *Revue des travaux relatifs à la géol. de la Suisse*. 1872, 28.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 205.
(3) *Bull. Soc. hist. nat. de Toulouse*, IV, 120.

dépôt connu sous le nom de diluvium des plateaux, à une altitude de 100 ou 200 mètres au-dessus du fond des vallées actuelles; à cette époque, les vallées n'étaient pour ainsi dire pas ébauchées : elles le furent dans une deuxième phase de la période quaternaire, et alors se déposèrent les terrasses élevées de cailloux roulés dont l'Agout offre des traces. Le creusement des vallées se compléta dans une troisième et une quatrième phase, également caractérisées par des terrasses de plus en plus basses.

Tandis que les couches pliocènes de l'Aude et des Pyrénées-Orientales sont relevées et disloquées avec la mollasse, le diluvium des plateaux est horizontal et n'a subi aucun dérangement.

Région pyrénéenne. — MM. Ed. Collomb (1) et Leymerie (2) regardent le dépôt caillouteux des plateaux dans les vallées du Tarn et de la Garonne comme antérieur au creusement des vallées et pouvant être rapporté à l'époque pliocène. Ce dépôt clysmien supérieur est surtout quartzeux, tandis que le diluvium de la vallée de la Garonne présente un grande variété de roches pyrénéennes. De plus, il est associé, en de certains endroits, à des gisements de sable ou d'argile qui semblent indiquer un mode de formation plus régulier et plus tranquille que celui des dépôts des vallées. Sans se prononcer d'une manière définitive sur l'origine du dépôt supérieur, M. Leymerie est porté à croire, d'après sa nature quartzeuse, qu'il provenait du Plateau central, où le quartz abonde beaucoup plus que dans la région pyrénéenne, en même temps que la variété des roches y est beaucoup moins grande.

Suisse. — Plusieurs géologues admettent qu'il y a eu deux époques glaciaires en Suisse, et, à l'appui de cette manière de voir, M. Heer a cité deux localités, la Dranse près du lac de Genève, et Wetzikon dans le canton de Zurich, où l'on voit un terrain d'alluvion enclavé entre deux terrains glaciaires. M. Alph. Favre (3) ne croit pas cependant qu'il en résulte nécessairement l'existence de deux périodes glaciaires distinctes : il rappelle que, dans l'allée Blanche, au sud du mont Blanc, on voit les anciennes moraines du commencement du siècle recouvertes par des alluvions qui, peu à peu, tendent à combler le lac Combal. Si maintenant les glaciers reprennent le développement qu'ils avaient il y a cinquante ans,

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 92.
(2) *Ibid.*, 203.
(3) 4° *rapport sur les blocs erratiques.* — Frauenfeld, 1871.

de nouvelles moraines recouvriront ces alluvions ; et cependant il n'y aura pas eu deux époques distinctes, mais deux phases différentes dans l'époque actuelle.

— La révision des blocs erratiques faite par les soins des géologues suisses a permis de constater avec précision la puissance des anciens glaciers : c'est ainsi qu'on a reconnu que les glaciers du Valais avaient 800 mètres d'épaisseur à Soleure, ce qui s'accorde bien avec la rencontre de roches du Valais jusque dans le canton de Bâle.

ITALIE. — M. Ponzi (1) a entrepris une classification des dépôts quaternaires subapennins d'après leur climat probable. Après avoir séparé, sous le nom d'époque préglaciaire, les dépôts marins pliocènes, attestant une diminution constante de la température à partir d'un climat presque tropical, l'auteur distingue les formations suivantes :

I. Époque glaciaire.—Formations marines: 1° galets roulés et brèches : diluvium dit alpin. Le froid augmente, l'eau se convertit en neige; 2° tufs volcaniques : c'est le moment du plus grand froid, les glaciers transportent les masses erratiques et en même temps se manifeste une activité volcanique générale.

II. Formations fluviales. — Époque post-glaciaire. — 1° Brèches travertineuses, rivages soulevés. La température s'élève progressivement, la neige fond, de grandes inondations ont lieu : c'est le moment des éruptions du Latium et de l'apparition de l'homme. — 2° Diluvium fluvial subapennin. Cette formation continue jusqu'au rétablissement de l'équilibre de la température.

Époque actuelle. — Dépôts de toutes sortes. La température reste constante, le sol s'élève graduellement, les volcans du Latium s'éteignent, les temps historiques commencent.

AMÉRIQUE DE NORD.—M. J. D. Dana (2) a cherché à déterminer, à l'aide des stries observées sur les roches de la Nouvelle-Angleterre et de l'État de Vermont, la position que devait occuper le plateau où se trouvait l'origine du grand glacier qui produisait ces stries. La direction des stries est Sud 50 degrés Est dans les montagnes Vertes : en la prolongeant au delà du Saint-Laurent, on rencontre la vallée de l'Ottawa, située presque exactement dans cette direc-

(1) *Atti della Soc. ital. di sc. naturali*, XI, 181.
(2) *Americ Journ.* (3), II, 324.

tion et où les stries sont alignées Sud 45 degrés Est. En continuant jusqu'a la ligne de partage des eaux entre la baie d'Hudson et le Saint-Laurent, on arrive à cette conclusion que le plateau de glace devait se trouver entre les lacs Temiscamang et Mistissinny. De plus, la hauteur à laquelle les stries ont été observées dans le Vermont conduit à admettre que l'altitude du plateau où se trouvait l'origine du glacier devait être de 1.500 mètres environ plus grande qu'aujourd'hui. Le glacier, à la traversée de la vallée du Saint-Laurent, se divisait en deux parties : la partie inférieure, suivant le lit de la vallée et produisant alors des stries nord-est, conformément à ce qu'on observe ; la partie supérieure, franchissant la vallée et venant strier les montagnes Vertes du nord-ouest au sud-est. Il est à remarquer que cette bifurcation des stries à la traversée du Saint-Laurent est inexplicable pour ceux qui attribuent leur production aux glaces flottantes et qu'elle implique forcément l'idée d'un glacier continental.

En outre, l'élévation beaucoup plus grande du continent à cette époque rend suffisamment compte du froid qui a dû caractériser la période glaciaire dans le nord de l'Amérique.

En résumé, M. J. D. Dana distingue, dans l'époque quaternaire, pour cette région, trois grandes phases :

1° Soulèvement en masse de la contrée à 1.500 mètres au-dessus de son niveau actuel, et commencement de l'*Ère glaciaire* ;

2° *Ère de Champlain*, ou période d'enfoncement graduel, dont le résultat a été d'abaisser la région plus encore qu'elle n'avait été soulevée, et dont le commencement a déterminé la fonte du glacier ;

3° *Ère des terrasses*, coïncidant avec une élévation du continent à son niveau actuel, ce qui a permis le creusement des vallées et la formation des terrasses fluviales ou lacustres.

Ces trois grands mouvements ont d'ailleurs très-bien pu coexister avec des oscillations locales de moindre importance.

—M. Mathew (1), en étudiant la géologie superficielle du Nouveau-Brunswick, est arrivé à des conclusions semblables à celles de M. Dana. Il constate que la direction et la position des stries, aussi bien que le mode de distribution des dépôts glaciaires, ne paraissent pas explicables par l'hypothèse des glaces flottantes et des courants marins. Il lui semble raisonnable d'admettre que,

---

(1) *Americ. Journ.* (3), II, 371.

pendant l'époque glaciaire, le Nouveau-Brunswick était couvert d'un manteau de glace dont la masse générale cheminait vers le sud, mais dont les parties les plus voisines du fond étaient influencées dans leur mouvement par la configuration des terrains sous-jacents.

Origine du terrain quaternaire.

M. Ed. Collomb (1) a fait ressortir la grande uniformité de composition du terrain quaternaire sur quelques points du globe qu'on l'observe. Tandis que les sédiments jurassiques ou crétacés changent rapidement de nature d'un point à un autre, partout les caractères stratigraphiques du diluvium ou terrain quaternaire sont les mêmes et le rendent reconnaissable à première vue tout comme le granite, le gneiss et les roches de l'écorce primitive. M. Collomb en conclut que les causes qui ont produit un phénomène aussi général dans le temps et dans l'espace ne peuvent être cherchées dans les résolutions locales, telles que des soulèvements, mais qu'il y faut voir l'action d'une cause cosmique ou astronomique qui est encore à découvrir.

Climat de l'époque postglaciaire.

On admet assez généralement que la période qui a suivi l'émersion des dépôts de l'époque de grands glaciers, a été caractérisée par une amélioration continue du climat rigoureux des temps glaciaires.

M. S. Wood junior (2) n'est pas de cet avis. Il pense que la première époque postglaciaire a joui d'un climat plus doux que celui qui règne de nos jours. Il lui paraît impossible d'admettre que l'éléphant, le rhinocéros et l'hippopotame aient pu être organisés en vue d'un climat constamment sévère, et que leur disparition doive être attribuée uniquement à l'action des premiers hommes. Les instruments si défectueux de l'âge de pierre ne pouvaient produire des effets destructeurs dont les armes à feu sont seules capables. Il est beaucoup plus naturel d'admettre que, favorisés par une température plus douce, les grands pachydermes, aujourd'hui confinés en Afrique, pouvaient vivre en Europe, sauf à émigrer pendant l'hiver dans des latitudes plus méridionales, tandis que le renne, dont les débris ne sont d'ailleurs associés qu'à ceux des plus récents des grands pachydermes, s'avançait en hiver jusque

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 97.
(2) *Geol. Mag*, IX, 153.

dans nos contrées. Peut-être même, à l'époque du renne, la communication était-elle déjà impossible entre l'Europe et l'Afrique ; en sorte que, privés de la faculté de migration en hiver, les grands pachydermes ont dû disparaître peu à peu, en présence d'un climat redevenu plus rigoureux, après quelques efforts pour s'adapter à ces nouvelles conditions. On a trouvé, dans des îles arctiques situées au nord de la Sibérie, des forêts fossiles, avec débris d'éléphants, qui sont bien au delà de la limite actuelle de la végétation arborescente. De plus, M. Fisher a trouvé, dans un dépôt postglaciaire à Lexden, des restes de coléoptères chez lesquels M. T. V. Wollaston voit la preuve évidente d'une température plus douce que celle de nos jours. Enfin le mollusque associé aux grands mammifères dans les dépôts postglaciaires d'Angleterre, la Cyrena fluminalis, n'existe plus aujourd'hui que dans le Nil, en Syrie, près de l'Himalaya et en Chine.

En résumé, au lieu d'une amélioration graduelle et continue, il y aurait eu après l'époque glaciaire, d'abord un climat plus chaud que celui de nos jours, et plus tard une recrudescence de froid, suivie par un radoucissement progressif de la température.

Il est vrai que M. J. Geikie (1), en admettant que l'amélioration a été graduelle pendant toute la période postglaciaire, cherche à prouver que c'est à tort qu'on attribue à cette période les dépôts des cavernes avec débris de grands mammifères. Pour lui ces dépôts, et même certains graviers des rivières, peuvent parfaitement appartenir, sinon aux temps préglaciaires, du moins à ces époques interglaciaires pendant lesquelles la température s'adoucissait momentanément assez pour permettre, en Angleterre, la disparition entière ou presque entière des glaces.

(1) *Geol. Mag.*, IX, 164.

QUATRIÈME PARTIE.

GÉOLOGIE GÉOGRAPHIQUE.

La quatrième partie de cette Revue comprendra les cartes géologiques et les divers travaux qui ont plus spécialement pour but de faire connaître la constitution géologique de chaque pays.

Un chapitre spécial sera consacré aux cartes agronomiques et à la géologie appliquée à l'agriculture.

EUROPE.

ILES AÇORES. —Des recherches sur la géographie physique et sur l'histoire naturelle des Açores ont été faites par MM. A. Morelet et Drouet. De même que les archipels des Canaries et des Madères, celui des Açores forme un groupe complétement indépendant, et c'est à tort qu'on l'a rattaché à l'Atlas par une chaîne sous-marine. Tandis que les Canaries et les Madères peuvent, d'après leur flore et leur faune, être considérées comme une dépendance de l'Afrique, les Açores paraissent au contraire appartenir à l'Europe.

En effet, sur 396 plantes phanérogames, plus des trois quarts se retrouvent en Europe; et M. Morelet (1) observe que sur 69 mollusques terrestres, plus des deux cinquièmes sont communs aux deux pays.

D'un autre côté, aux Madères, on rencontre seulement sept mollusques terrestres de la faune des Açores et il n'y en a même que quatre aux Canaries; chacun de ces archipels possède donc bien une faune qui lui est propre.

Parmi les mollusques terrestres des Açores, M. Morelet signale une espèce vivante du genre Viquesnelia, qui a été créé par M. Deshayes, d'après des fossiles rencontrés d'abord en Roumélie et dans l'éocène des Pyrénées.

(1) *Notice sur l'histoire naturelle des Açores.*

ROYAUME-UNI.

IRLANDE. — M. Green (1) ayant observé, dans le comté de Donégal, près du mont Errigal, des granites gneissiques, en couches intercalées au milieu des micaschistes, en a conclu qu'ils proviennent de roches sédimentaires métamorphiques. M. Forbes (2), après avoir rappelé que d'autres observateurs ont au contraire signalé des filons de ces mêmes granites gneissiques dans les terrains encaissants, a cherché à établir que le gisement d'une roche en couches horizontales régulières ne peut rien prouver contre son origine éruptive. D'ailleurs il ne lui paraît pas certain que les micaschistes du mont Errigal soient sédimentaires; car on n'y a trouvé aucun fossile, et ils ne se rencontrent nulle part en relation directe avec les terrains stratifiés auxquels on pourrait être tenté de les rapporter. Enfin l'exactitude même de la coupe produite par M. Green à l'appui de sa manière de voir n'est admise ni par M. Forbes ni par M. Scott.

— MM. Hull et Traill (3) ont étudié les deux granites de Slieve-Croob et des monts Mourne (4). Le premier, formé de quartz, orthose et mica, est associé aux grès et schistes siluriens; il est peut-être métamorphique.

Le second, plus riche en potasse et contenant de l'albite, a été injecté au milieu des roches siluriennes et on le voit passer au porphyre quartzifère

Il est probable qu'une grande distance a séparé la formation de ces deux granites. Du reste, les auteurs établissent, ainsi qu'il suit, la succession des phénomènes éruptifs dans le district des monts Mourne :

1. Granite métamorphique de Slieve-Croob, Castlewellan et Newry. — Entre le carbonifère et le silurien.

2. Anciens dykes basaltiques de Mourne et Carlingford. — Carbonifère supérieur.

3. Dykes dioritiques. — Postérieurs au carbonifère.

4. 1° Granite de Mourne. 2° Porphyre feldspathique traversant

---

(1) *Geol. Society*, 21 juin 1871.
(2) *Geol. Mag.*, IX, 12.
(3) *Geol. Mag.*, VIII, 421. — *British Association*, août 1871.
(4) Delesse, *Bulletin géol.* [2], X, p. 568.

le granite de Slieve-Croob et les anciens dykes basaltiques.—Post-carbonifère.

5. Basaltes récents, miocènes.

FRANCE.

FLANDRE.—MM. Ortlieb et Chellonneix (1) ont décrit avec beaucoup de détail les collines tertiaires du département du Nord et celles qui leur font suite en Belgique. Elles occupent une position intermédiaire entre le bassin parisien et le bassin anglo-belge, mais en réalité elles appartiennent à ce dernier.—Le tableau suivant indique la correspondance des couches de l'éocène inférieur avec celles des contrées limitrophes :

ASSISES. — Département du Nord.	ÉQUIVALENTS ÉTRANGERS. Belgique.	Bassin de Paris.	Angleterre.
Sable à Nummulites planulata. Argile à N. planulata.	Ypresien supérieur.	Sables de Cuise.	Grès d'Emsworth, près Chichester.
Argile à Crustacés, Ostrea flabellula. Lit de silex roulés. Argile sans fossiles.	Yprésien inférieur.	Semble manquer dans le bassin de Paris.	Sables de Bagshot. Argile de Bogner. Argile de Londres.
Sable quartzeux. Argile plastique. Lignites.	Landenien supérieur.	Sables et grès inférieurs. Argile à lignites.	Plastic clay.
Tuffeau à Pholadomya Koninckii. Grès sableux à Cyrena Morrisii. Conglomérat à silex.	Landenien inférieur.	Sables de Bracheux.	
Inconnu.	Heersien.		Inconnu.
Inconnu.	Montien.	Inconnu.	Inconnu.

voit, d'après ce tableau, que la partie supérieure du puissant système des argiles yprésiennes se rattache par ses fossiles au panisélien. Les auteurs mettent après ce dernier étage la séparation entre l'éocène inférieur et l'éocène moyen.

Ils distinguent ensuite le bruxellien et le lackenien, mais en rapportant à ce dernier niveau, pour des raisons paléontologiques, une couche d'argile glauconifère, que Dumont considérait comme la première assise du tongrien. La division entre l'éocène et le miocène se trouve ainsi reportée un peu plus haut.

Les couches supérieures sont difficiles à étudier ; aussi MM. Ort-

(1) Lille. (Extrait par M. Douvillé.)

lieb et Chellonneix rapportent-ils avec doute au tongrien ou au rupélien une couche de sables fins supérieurs à la couche de glauconie : ils maintiennent d'ailleurs dans le pliocène (Diestien de Dumont) les sables grossiers et ferrugineux qui couronnent les collines les plus élevées.

BRETAGNE. — On doit à M. Le Hir (1) des renseignements précis sur les gisements fossilifères des terrains paléozoïques dans les arrondissements de Morlaix, de Brest et de Châteaulin : presque tous ces gisements paraissent appartenir au terrain dévonien ; cependant le terrain silurien y existe aussi, au moins sous la forme de grès à scolithus linearis. On peut d'ailleurs consulter à ce égard les coupes géologiques des chemins de fer de l'Ouest qui ont été dressées sous la direction de M. Mille, ingénieur en chef des ponts et chaussées, par MM. Triger, Delesse et Guillier.

DORDOGNE. — M. L. Marot (2), qui depuis longtemps s'occupe de la géologie de la Dordogne, a publié un premier résumé de la description géologique de ce département. C'est un tableau faisant connaître les divers terrains qui sont représentés sur le territoire de chaque commune, ainsi que les altitudes maxima et minima. M. Marrot donne également les altitudes et les coordonnées géographiques des principaux points du département de la Dordogne.

POUY D'ARZET. — M. Guillebot de Nerville (3) a étudié au Pouy d'Arzet, près de Dax, un lambeau de calcaire sur lequel les opinions les plus contradictoires ont été émises. Tertiaire pour MM. Crouzet et de Freycinet, il est crétacé pour M. V. Raulin et permien pour M. Guillebot de Nerville.

En tout cas, il se trouve redressé au contact d'un massif éruptif d'ophite ; de plus il est accolé à des rudiments d'un grès qui ressemble au grès bigarré et en outre à un terrain d'argiles irisées avec source salée et sel gemme, comme on en rencontre sur divers points aux pieds des Pyrénées.

Pour M. Guillebot de Nerville, ce calcaire du Pouy d'Arzet appartient, d'après ses caractères minéralogiques, à la partie supérieure du terrain permien ; c'est un voussoir, redressé sur sa

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 87.
(2) *Tableau des communes du département de la Dordogne*. Périgueux, 1870.
(3) Lettre à M. Delesse, de février 1873. *Société linnéenne de Bordeaux* de 1870, page 70.

tranche et remonté jusqu'au niveau du sable des Landes qui, sous ses couches horizontales, recouvre et dissimule tant de plis des terrains déposés avant lui.

Toujours est-il que le calcaire permien présente les mêmes caractères que le calcaire précédent : il se montre d'ailleurs sur la lisière du bassin d'Aubin, dans le département de l'Aveyron, où il a été décrit par MM. Coquand et Magnan; il se montre aussi sur un certain nombre de points de la Corrèze et de la Dordogne. M. Guillebot de Nerville pense également qu'il a été atteint de 852^m,33 à 854^m,48 dans le grand sondage artésien de Rochefort (1); il semblerait donc occuper de vastes étendues souterraines dans le sud-ouest de la France.

Le calcaire du Pouy d'Arzet, que M. Guillebot de Nerville synchronise avec le calcaire permien, ne renferme malheureusement pas de fossiles; il est de plus très-éloigné du Plateau central; en outre, les argiles irisées et toutes les roches accompagnant le sel gemme présentent des caractères qui restent souvent les mêmes à des niveaux géologiques très-différents; par conséquent, le rapprochement établi entre ces calcaires, étant basé seulement sur les caractères minéralogiques, demanderait à être contrôlé par de nouvelles observations.

Saucats, Gironde, Agenais. — M. Linder (2) a fait, avec divers membres de la Société Linnéenne de Bordeaux, une nouvelle étude des dépôts tertiaires qui s'observent dans le vallon de Saucats dont la classification était jusqu'à présent assez controversée.

Il résume l'ensemble de ses recherches par le tableau suivant :

I.	Sables caillouteux superficiels.	Terrain quaternaire.	
II.	Dépôts à Cardita Jouanneti de la Sime et et de la métairie Cazenave.	La base du falun de Salles, équivalent, *pro parte*, du Falun de Léognan, la partie supérieure de III étant l'équivalent marin de la partie supérieure du. .	Calcaire lacustre jaune de l'Armagnac.
III.	Falun de Pont-Pourquey, renfermant dans ses assises supérieures des Hélix, des Planorbes, des Limnées.		
IV.	Falun du moulin de Lagus		
V.	Falun de La Cassagne, de Joachim, etc. .		
VI.	Marne fluvio-marine de Joachim, du moulin de l'Eglise et de Lariey.	Calcaire d'eau douce gris de l'Agenais.	
VII.	Falun de Lariey, etc.		
VIII.	Calcaire d'eau douce de Joachim, du moulin de l'Eglise et de Lariey.		
IX.	Sables jaunes inférieurs de Lariey, et sables supérieurs des moulins de Bernachan.	Falun de Bazas.	

(1) *Revue de géologie*, VI, 224, et X.
(2) *Société Linnéenne de Bordeaux*, XXVII.

X.	Sables argileux et marnes à Cerites, Nerita picta. Turritella Desmarestina, etc.	Calcaire d'eau douce blanc de l'Agenais (Équivalent marin du)
XI.	Marnes et argiles à concrétions calcaires de Labrède.	Calcaire à Astéries.
XII.	Calcaire à Natica crassatina de Labrède et de Laprade.	

Au sujet de cette classification des couches du vallon de Saucats, M. Linder observe qu'elle s'accorde assez avec celles de MM. Ch. Mayer et R. Tournoüer, tandis qu'elle différerait notablement de celle de M. V. Raulin.

Toutefois, si M. R. Tournoüer (1) est d'accord avec M. Linder sur tous les points principaux, il est au contraire en désaccord formel avec M. Ch. Mayer sur la question importante de la position du calcaire lacustre jaune de l'Armagnac. M. R. Tournoüer ne saurait admettre, en effet, que ce calcaire se trouve intercalé entre le falun de Salles ainsi que les falluns supérieurs à Cardita Jouanneti du vallon de Saucats et les faluns de l'Armagnac, comme l'indique le dernier *Tableau synchronistique* de M. Mayer (Zurich, 1868). Il admet encore moins le synchronisme, reproduit par M. Mayer, d'après M. Raulin, des calcaires lacustres de l'Armagnac et de Sansan d'une part, et des calcaires lacustres de l'Albigeois d'une autre part; ces derniers, même les plus élevés, appartenant tout au plus à l'horizon des molasses inférieures de l'Agenais et les autres à l'éocène supérieur.

Du reste, c'est surtout par les couches d'eau douce, intercalées sur les bords des bassins tertiaires marins, qu'il devient possible d'établir des divisions et des repères dans ces bassins. En les étudiant dans la Gironde et dans l'Agenais, M. Linder est conduit à les synchroniser de la manière suivante pour la partie supérieure et moyenne des terrains tertiaires :

Gironde.	*Agenais.*
1. Falun de Salles.	1. Argiles gypsifères et marnes d'eau douce.
	2. Calcaire lacustre jaune de l'Armagnac.
3. Falun de Léognan.	3. Marnes et molasses d'eau douce.
	4. Calcaire lacustre gris de l'Agenais.
5. Falun de Bazas.	5. Marnes et molasses d'eau douce.
	6. Calcaire lacustre blanc de l'Agenais.
1. Calcaire à Astéries.	7. Marnes et molasses d'eau douce.
	8. Calcaire lacustre de Castillon. (Calc. lac. blanc du Périgord de M. Raulin, *pro parte.*)

Langeac. — L'extrémité du bassin houiller de Langeac est recouverte sur une asses grande surface par du gneiss. Comme les couches de houille gardent leur pendage normal jusqu'à une

(1) Lettre de M. R. Tournoüer à M. Delesse.

faible distance du chapeau qui les cache, M. Tournaire (1) pense que ce renversement remarquable doit plutôt être attribué à une chute partielle du gneiss encaissant qu'à un plissement général de ces roches.

JURA DÔLOIS. — On doit à M. Jourdy (2) une description géologique du Jura dôlois, avec carte à l'échelle de $\frac{1}{80.000}$, mettant en évidence les failles nombreuses qui accidentent ce massif. M. Jourdy a également cherché à rendre compte, par l'étude des faunes, des conditions dans lesquelles s'étaient effectués les divers dépôts, relativement à la profondeur des mers et à la nature des terrains antérieurs qui étaient émergés.

MÂCONNAIS. — M. Berthaud (3) a commencé la publication d'un travail d'ensemble sur la géologie du Mâconnais. Poursuivant seul les études qu'il avait d'abord entreprises avec M. Tombeck, il s'est attaché, par une détermination soignée des fossiles, à mieux préciser les horizons géologiques et à combler les lacunes laissées par les personnes qui l'avaient précédé dans l'étude de ce pays.

Une coupe de Cluny à la Saône donne la succession des terrains dans le Mâconnais.

Dans son ouvrage, M. Berthaud recherche d'une manière spéciale quelle influence la constitution de chaque terrain exerce sur son agriculture.

LES MAURES. — M. N. de Mercey (4) a donné une petite carte géologique des montagnes des Maures, dans laquelle il sépare les roches cristallines d'une manière plus complète qu'on ne l'avait fait avant lui. M. de Mercey a d'ailleurs réuni les types très-nombreux que présente cette région dans une belle collection qu'il a formée à Hyères, où l'on peut voir également celle qui a été créée par M. le duc de Luynes.

MONT CENIS. — Tous les géologues connaissent les discussions importantes auxquelles a donné lieu le terrain anthracifère des Alpes. De nouveaux éléments viennent d'être apportés, sur cette

(1) *Bulletin géol.* [2], XVI, 1122.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 234.
(3) Paris, Savy, 1871, avec carte géologique. — Voir aussi *Revue de géologie*, V, p. 229.
(4) *Société philomathique de Paris*, juillet 1868.

question, par l'exécution du grand tunnel du col de Fréjus ou du mont Cenis, qui met en communication Modane et Bardonnèche.

Sans rentrer dans les discussions antérieures, nous allons analyser d'une manière très-brève les résultats formulés par deux savants éminents, MM. Élie de Beaumont et de Sismonda (1).

Les terrains traversés par le tunnel peuvent se répartir en six zones :

1° La *zone anthraciteuse* qu'on rencontre la première, en venant de Modane, après avoir traversé 128 mètres de terrain ébouleux, et qui est la plus élevée dans l'ordre de superposition des couches. Son épaisseur orthogonale est de 1.137 mètres. Elle offre l'aspect et la composition ordinaires des terrains anthracifères supérieurs de la Maurienne et de la Tarentaise ;

2° La *zone des quartzites*, d'une épaisseur de 221 mètres ;

3° La *zone calcaréo-gypseuse*, qui a 496 mètres. On y rencontre quatre alternances d'anhydrite ;

4° La *zone supérieure du calcaire schisteux*, d'une épaisseur de 1.605 mètres ;

5° La *zone moyenne des calcaires schisteux*, d'une épaisseur de 1.509 mètres, qui se distingue par une proportion plus grande de sable quartzeux ;

6° La *zône inférieure des calcaires schisteux*, qui a 2.024 mètres et ne cesse qu'à l'entrée méridionale près de Bardonnèche.

La cristallisation a du reste fait disparaître les bélemnites et les fossiles jurassiques, qui s'observent cependant dans le prolongement des zones calcaires quand elles n'ont pas été trop fortement métamorphosées.

Suivant MM. Élie de Beaumont et de Sismonda, toutes les roches traversées par le tunnel appartiennent à une seule et même grande formation.

D'un autre côté, les six zones sont bien distinctes, physiquement et minéralogiquement, et aucune d'elles ne peut être considérée comme la prolongation repliée de l'une des autres. Il en résulte que l'épaisseur orthogonale de ces zones est au moins de 7.000 mètres ou plus du double de la hauteur des montagnes de la Maurienne et de la Tarentaise au-dessus de leur base. Une faille capable de faire disparaître le système de couches traversé par le tunnel devrait avoir produit une dénivellation supérieure à 7.000 mètres, et il importe d'observer qu'on n'a pas rencontré de faille dans les travaux.

---

(1) *Comptes rendus* 4 juillet 1870 et 18 septembre 1871.

« En résumé, dit M. Elié de Beaumont, le terrain anthraci-
« fère de la Maurienne et de la Tarentaise est intimement lié au
« terrain de calcaire schisteux qui appartient au lias supérieur. Il
« lui est superposé, et il est d'une origine plus récente, ainsi qu'on
« s'est efforcé de le prouver depuis quelque quarante ans. »

« Cette dernière conclusion ne pourrait être infirmée que par la
« supposition que les 7.000 mètres de couches traversées par le
« tunnel seraient toutes dans une situation renversée; mais cette
« supposition ne pourrait être vraie pour le tunnel sans l'être aussi
« pour toutes les autres parties de la Maurienne et de la Taren-
« taise, qui seraient alors des contrées où les couches sédimen-
« taires ne se verraient jamais que dans une situation renversée :
« hypothèse paradoxale, qui, je me hâte de le dire, n'a pas été
« articulée d'une manière complétement explicite, et qu'il serait
« prématuré, par conséquent, de réfuter dès à présent. »

BELGIQUE.

A l'occasion du centième anniversaire de l'Académie des sciences de Bruxelles, M. G. Dewalque (1) a publié un rapport sur les progrès que la minéralogie et la géologie doivent à l'initiative de l'Académie. Ce rapport de M. Dewalque comprend une période de cent années et donne un excellent résumé des nombreux travaux auxquels l'Académie de Bruxelles a pris part durant cette période; il permet de bien apprécier, par quelle longue suite d'efforts, la Belgique peut être citée comme l'un des pays dont la géologie est actuellement le mieux connue; il explique aussi l'influence que les études géologiques, faites en Belgique par des savants tels que Dumont, d'Omalius, de Koninck, etc., ont exercée sur la marche de la science dans les pays voisins.

LIMBOURG. — A la base du terrain tertiaire de la Belgique, on trouve dans le Limbourg des couches paraissant contemporaines des sables de Bracheux et désignées par Dumont sous le nom de système Heersien. Récemment M. G. Dewalque a découvert, dans une marne blanchâtre de Gelinden qui appartient à ce système, deux fossiles nouveaux qui ont été déterminés par M. le docteur T. C. Winkler (2). L'un de ces fossiles est un poisson du genre

(1) G. Dewalque : *Rapport séculaire sur les travaux de la classe des sciences.* (Livre commémoratif du centième anniversaire de l'Académie, 1772-1872.)
(2) Harlem, 1869.

Smerdis, l'autre est un échinoderme, Bourgueticrinus Dewalquei. Il est bon d'observer d'ailleurs que si les Bourgueticrinus se trouvent quelquefois mentionnés dans le terrain tertiaire, ils appartiennent surtout à la craie blanche.

SUISSE.

— Une *Revue des travaux relatifs à la géologie de la Suisse*, étant publiée chaque année par M. Ernest Favre, dans les *Archives des sciences de la Bibliothèque Universelle de Genève*, nous la signalerons spécialement aux géologues qui désirent se tenir au courant des progrès de la science dans ce pays.

— M. Studer a fait paraître sur la géologie de la Suisse un ouvrage en deux volumes qui est bien connu de tous les géologues et qui date déjà d'une vingtaine d'années : depuis cette époque, de grands progrès ont été réalisés, et chaque jour en apporte de nouveaux; toutefois, comme l'observe M. Studer, il reste encore bien des problèmes à résoudre dans ces montagnes si bouleversées des Alpes, particulièrement dans leurs massifs calcaires, qui sont souvent très-pauvres en fossiles, et qui présentent de plus des enchevêtrements incroyables. Les différentes parties de la Suisse ont cependant été étudiées avec beaucoup de soin et par de nombreux géologues, notamment par MM. Pictet, Escher de la Linth, Alphonse et Ernest Favre, Mérian, Desor, Renevier, Muller, de Loriol, de Fischer-Ooster, Théobald, Moesch, Kaufmann, Jaccard, Greppin, Gerlach; mais il est nécessaire d'attendre que la carte géologique de détail soit terminée avant que l'on puisse songer à donner une description de l'ensemble de la Suisse. Aussi quant à présent, M. B. Studer (1) s'est-il contenté de publier une sorte de dictionnaire dans lequel on trouvera un résumé de tout ce que l'on connait maintenant sur la pétrographie et sur la stratigraphie soit de la Suisse, soit des pays qui l'avoisinent.

MOLÉSON. — M. Ernest Favre (2) a décrit la constitution géologique du massif du Moléson et des montagnes environnantes dans

(1) *Index der Petrographie und Stratigraphie*, 1872.
(2) *Archives des sciences de la Bibl. univ. de Genève*, XXXIX. — Voir aussi *Revue de géologie*, X. Terrains.

le canton de Fribourg. La structure du Niremont est celle d'un pli renversé ; celle du Moléson est très-régulière : de tous les côtés, en montant, on s'élève dans la série géologique, depuis le terrain jurassique jusqu'au néocomien. A l'est, on rencontre des couches rhétiennes et triasiques, fortement relevées et plongeant sous la montagne.

FRIBOURG. — On observe dans les Alpes de Fribourg, en association avec le néocomien alpin, un calcaire schisteux, rouge ou verdâtre, pauvre en fossiles; ce terrain a été souvent confondu avec les couches rouges oxfordiennes de la même région ; mais cette manière de voir est combattue par MM. Gilliéron et Ernest Favre (1), qui considèrent le calcaire rouge supérieur comme intercalé entre le néocomien et l'éocène et comme étant l'équivalent de la craie supérieure. Du reste, à la Simmenfluh, près de Wimmis, M. Mérian a reconnu dans ce calcaire la présence de l'Inoceramus Brongniarti.

ITALIE.

PIÉMONT. — Depuis plusieurs années, M. le professeur Bartolomeo Gastaldi a entrepris la carte géologique et minéralogique du versant piémontais des Alpes au cinquante-millième, et il poursuit activement ce travail avec le concours de M. Banetti. Chaque nature de roche est indiquée et circonscrite avec soin, ce qui rend cette carte indépendante de toute théorie. Ce n'est pas cependant que M. Gastaldi n'ait la sienne, et il vient de l'exposer dans un mémoire (2).

M. Gastaldi considère toutes les roches plus ou moins cristallines des Alpes piémontaises : schistes calcaires lustrés, calcaires cristallins avec leurs gypses et cargneules, grès talqueux, quartzites, schistes talqueux, micaschistes, serpentines, euphotides, diorites et granites, comme formant un seul tout stratifié qu'il nomme *zone des roches cristallines récentes* ou *des roches vertes*. Cette zone entoure des noyaux ou massifs d'un gneiss à larges cristaux de feldspath que M. Gastaldi appelle *Gneiss antique* ou *inférieur*.

L'énorme zone des roches cristallines récentes ou roches vertes,

(1) *Revue des travaux relatifs à la géologie de la Suisse*, 1872, 19.

(2) *Studii geologici sulle Alpi occidentali*. Florence, 1871, in-4°, avec planches, carte et coupes.

ainsi désignée à cause de sa couleur généralement verdâtre, présente une épaisseur orthogonale qui s'élève à plusieurs kilomètres. Se basant sur l'absence de fossiles dans toute cette puissante zone, le professeur de Turin la rapporte aux terrains prépaléozoïques antérieurs au silurien fossilifère.

Appliquant cette théorie aux roches traversées par le tunnel de Fréjus ou du mont Cenis M. Gastaldi (1), range tous les terrains qui se trouvent entre Modane et Bardonnèche (grès talqueux, quartzites, gypses, calcaires dolomitiques et schistes lustrés), dans la grande zone des roches vertes, et il en fait, par conséquent, des terrains prépaléozoïques antérieurs au silurien.

— D'un autre côté les géologues suisses et avec eux M. de Mortillet (2) n'admettent aucunement la manière de voir de M. Gastaldi, relativement à l'ancienneté des roches traversées par le tunnel du mont Cenis.

Suivant eux, les grès talqueux du côté de Modane, au milieu desquels on a rencontré des couches d'anthracite, et qui reposent sur les gneiss anciens, représentent l'époque houillère et font partie du terrain anthracifère des Alpes.

Quant aux quartzites avec gypse, anhydrite, cargneules, dolomies, calcaires et calcschistes, qui reposent sur les grès talqueux, ces géologues les considèrent comme l'équivalent du trias.

Suivant M. de Mortillet, les calcaires peuvent se suivre, d'une manière continue, jusqu'à Villarodin et à l'Esseillon, où l'on y a observé des coquilles, appartenant aux genres Lima et Avicula.

De plus, à Bardonnèche, les calcaires lustrés sont surmontés par des calcaires qui, en Maurienne et en Tarentaise, contiennent les fossiles du lias.

— M. B. Gastaldi (3) a encore donné une description des roches qui composent la partie des Alpes comprise entre la vallée de Roce et celle de Ranavo.

On en distingue deux grandes zones : l'une formée des gneiss anciens ou granitiques constituant l'ossature des principaux groupes montagneux, et l'autre composée de roches vertes qui recouvre la première et comprend des serpentines, des euphotides, des diorites, ainsi qu'une grande variété de roches magnésiennes.

---

(1) *Lettere del prof. B. Gastaldi al signore Enea Bignami dans Cenisio e Frejus.*
(2) *Géologie du tunnel de Fréjus*, Annecy, 1872.
(3) *Cenni sulla costituzione geologica del Piemonte.*

Cette dernière zone contient des bancs de calcaire saccharoïde, des calcschistes, des granites récents, et elle est sillonnée par des dykes porphyriques rouges, gris, ou à teintes foncées qui se rapportent aux mélaphyres. On y voit encore des granites massifs, des amphibolites, des porphyres quartzifères, et, au col de Tende, commencent les terrains tertiaires qui sont plus développés vers l'est.

Les Apennins présentent les mêmes éléments, et l'on voit qu'ils forment avec les montagnes des îles de la Méditerranée une continuation des Alpes, qui s'abaissent de plus en plus et qui sont recouvertes de terrains plus récents.

Le cours des vallées rencontre le terrain erratique, les moraines des anciens glaciers, et les cônes de déjection situés à l'entrée des vallées latérales.

M. Gastaldi étudie les immenses dépôts, d'apparence diluvienne, qui recouvrent le fond de la vallée du Pô et de ses affluents. Il montre que vingt-sept des vallées Alpines présentent des cônes de déjection sans trace de lacs, que sept seulement offrent un amphithéâtre glaciaire avec un ou deux lacs, que la plus intime relation existe entre ces divers dépôts.

Enfin, suivant M. Gastaldi, les bassins des lacs de cette partie des Alpes sont des vides produits et laissés par le front terminal des anciens glaciers.

Monts Euganéens. — Les terrains de sédiment que l'on observe dans le périmètre des monts Euganéens appartiennent, d'après les recherches de M. le professeur Pirona (1), aux époques jurassique, crétacée et tertiaire; leur stratification est concordante et presque horizontale.

Le terrain jurassique, peu développé, est représenté par des calcaires et par un poudingue à ciment rougeâtre. On y trouve l'Ammonites ptychoïcus (Quenstedt), A. plicatilis, A. Zignodianus, avec Aptychus lamellosus, Belemnites hastatus, qui caractérisent l'oxfordien.

Le terrain crétacé se présente sous la forme de calcaires qui, à la base, renferment les Ammonites incestus, A. Grasianus, A. quadrisulcatus, A. juilleti, A. infundibulum, A. Astierianus, Crioceras Duvalianus, C. Emerici, C. Villiersianus, C. Prioanus, Ancyloceras

---

(1) *R. comitato geol. d'Italia.* (Extrait par M. Caillaux d'un mémoire inséré dans les *Annales de l'Institut de Venise*, XV, 3e série.)

Puzozianus, A. Duvalianus, Terebratula diphyoïdes, Aptychus Didayi, A. radians, appartenant au néocomien.

Un calcaire gris, immédiatement supérieur, contient l'Inoceramus Coquandianus et l'I. concentricus.

La roche crétacée la plus importante des monts Euganéens est le calcaire blanc, rouge ou rosé, à couches minces, appelé *Scaglia*, qui renferme de nombreux rognons de silex pyromaque, et dont la puissance atteint 80 et 100 mètres. On y trouve l'Ananchytes tuberculata, Cardiaster italicus, C. Zignoana et Inoceramus Lamarkii.

Les terrains tertiaires n'ont qu'une étendue peu considérable. A leur base se montre un calcaire grossier, en couches puissantes et grisâtres où l'on rencontre Nummulites complanata et N. Biarritzensis, qui sont caractéristiques de l'éocène moyen.

Les terrains crétacés et tertiaires de ces localités sont d'ailleurs disloqués et souvent métamorphosés par les éruptions trachytiques qui y forment des collines élevées.

TOSCANE. — M. Antonio d'Achiardi (1) a commencé une publication dans laquelle il fait connaître les divers minéraux de la Toscane. On y trouvera des renseignements sur les caractères et sur les formes que ces minéraux présentent dans chaque gisement.

—Suivant M. d'Achiardi (2), les conglomérats que l'on observe dans la partie de la Toscane comprise entre la mer, les montagnes de Livourne et de la Cattalina, les deux vallées de l'Era et de l'Arno, appartiennent au terrain pliocène, et il en est de même pour les sables jaunes ainsi pour que les argiles bleues dont ils forment la partie supérieure. M. A. d'Achiardi montre les passages existants entre ces trois termes et leur communauté d'origine; il en déduit l'importance de l'étude des conglomérats qui permet d'indiquer d'où sont venus les dépôts pliocènes de cette contrée.

Cette étude, appliquée a la nature des éléments qui les composent, confirme l'idée émise déjà par le professeur Savi, que les dépôts pliocènes de cette contrée ont été fournis par les montagnes situées au nord de la plaine de l'Arno, particulièrement par les Alpes Apuennes et par les monts Pisans. Ces conglomérats diffèrent de ceux que l'on observe dans la vallée de Nievole, dans les vallées de Lima et du Serchio, et qui seraient, d'après M. Savi, des dépôts diluviens en rapport avec les oscillations qui ont donné aux Monts Pisans leur forme actuelle.

(1) *Mineralogia della Toscana*, 1872.
(2) *R. comitato geol. d'Italia.*

Ils diffèrent encore de ces conglomérats à fragments de serpentine qui sont venus et viennent encore aujourd'hui des montagnes du sud, allant vers le nord, depuis le changement de direction produit dans les cours d'eau de ces contrées par le soulèvement des Monts Pisans.

GROSSETO. — D'après les observations de M. J. Cocchi (1), dans la province de Grosseto, les terrains de Cosa consistent en un calcaire caverneux qui appartient au trias moyen. Orbetello et ses environs immédiats reposent sur un conglomérat post-pliocène et le mont Argentario présente la succession suivante dans les couches qui le composent :

Trias supérieur	Calcaire de Gongaro, etc.
Trias moyen	Calcaire caverneux. Cargneule avec gypse.
Trias inférieur	Quartzites supérieurs. Schistes.
Permien (?)	Anagénites. Quartzites inférieurs, schistes et calcaires subordonnés.
Carbonifère	Schistes ardoisiers et stéaschistes. Ardoises blanches et brunes. Micaschistes.

Cette série de couches est la répétition de celles que l'on observe à Pano dans la province de Sienne et en particulier de celles qui constituent les monts Pisans.

PONTREMOLI. — Le terrain tithonique a été reconnu par M. J. Cocchi (2) dans la vallée de Gordana, aux environs de Pontremoli. Il y est représenté par des calcaires à bélemnites et à aptychus ; ces calcaires alternent avec des jaspes et sont en stratification concordante avec les macignos et avec les alberèses qui les recouvrent.

CAMPAGNE DE ROME. — On doit à M. Giordano (3) un travail d'ensemble résumant l'état des connaissances acquises sur la géologie de la campagne de Rome.

Les formations les plus anciennes sont le lias et le terrain jurassique, visibles au mont Gennaro, au mont Soratte ainsi qu'au-dessus de Tivoli.

Les calcaires à hippurites et les calcaires compactes, dits *scaglia*, de la formation crétacée, constituent les monts Lepini.

---

(1) *B comitato geol. d'Italia.*
(2) *R. comitato geol. d'Italia.*
(3) *Essai sur la constitution géologique de la campagne romaine.* (*R. comitato geol. d'Italia.*)

Les calcaires à nummulites, les schistes à fucoïdes et la série des *alberese*, forment un vaste cercle de montagnes entourant le noyau trachytique de la Tolfa.

Le terrain miocène est rudimentaire, tandis que le pliocène est bien développé à Rome même, au mont Mario, au Vatican et au Janicule.

Ensuite viennent les alluvions post-pliocènes avec silex grossièrement taillés d'Acquatraversa ; puis les tufs volcaniques, qui forment la plus grande partie de la campagne de Rome. Les anciennes alluvions du Tibre renferment une multitude d'ossements de pachydermes, mélangés à des os d'ours, de bœufs et de chevaux.

Suivant M. Giordano, l'époque de la formation des tufs romains et des éruptions du Latium semble devoir correspondre à l'époque glaciaire.

Messine. — M. Seguenza (1) a décrit les formations primaires et secondaires de la province de Messine.

La roche la plus ancienne est un gneiss avec filons de granite, pegmatite, amphibolite, schistes micacés et calcaires saccharoïdes subordonnés. L'auteur y voit l'équivalent du laurentien.

Autour de cette formation, s'observent des schistes et phyllades appartenant au carbonifère, et recouverts par des quartzites et des schistes que M. Seguenza est disposé à considérer comme permiens.

Le trias est représenté près de Taormina par des conglomérats rouges, des grès, des calcaires et des dolomies.

La formation rhétique, développée entre Taormina et Giardini, est formée d'un calcaire à Lima punctata, Plicatula intusstriata, Rhynchonella fissicostata, etc.

Au lias moyen se rapportent des calcaires et des schistes avec Terebratula punctata, Spiriferina rostrata, S. Hartmanni, etc. Le lias supérieur à Ammonites primordialis et A. radians existe à Taormina.

Le terrain oolithique paraît faire entièrement défaut ; mais l'étage tithonique serait représenté à Santa Venere par des couches à Aptychus Beyrichi.

Le terrain crétacé est accusé par des calcaires néocomiens à Belemnites latus et par les couches cénomaniennes de Barcellona, à Cyprina africana, Cardium hillanum, Ostrea conica, O. Overwegi, O. auressensis, O. scyphax, O. flabellata, etc.

(1) *Comitato geol. d'Italia*; bulletins 7 et 8 août 1871.

En résumé, le tableau des formations sédimentaires de la Sicile peut être établi ainsi qu'il suit :

Système	Étage	Subdivision	Roches
Tertiaire	Éocène		Sables. Conglomérats.
Crétacé	Néocomien		Calcaire gris avec schistes noirs et silex pyromaque
Jurassique	Tithonique		Calcaire blanchâtre avec pyromaque et jaspes.
	Lias	supérieur	Calcaire gris marneux.
		moyen	Calcaire rouge avec marnes. Calcaire gris avec crinoïdes.
		inférieur	Calcaire veiné avec silex.
	Rhétien		Calcaire brun à Brachiopodes, et noir avec peignes et plicatules.
Triasique	supérieur		Calcaires et dolomies, blancs et rosés.
	inférieur		Grès et conglomérats rouges. Schistes rouges. Dolomies cellulaires. Calcaires avec veines spathiques.
Paléozoïque			Phyllades de l'époque carbonifère.

ALLEMAGNE.

M. H. de Dechen a publié une carte géologique de l'Allemagne. Cette carte, à l'échelle de $\frac{1}{1.400.000}$, est en deux feuilles et comprend la plus grande partie des Alpes. Grâce aux communications faites à M. de Dechen par les nombreux géologues qui ont étudié les différentes parties de l'Allemagne et des pays voisins, elle se trouve au courant des découvertes les plus récentes.

Oldenbourg. Hanovre. — M. Prestel (1) a donné une monographie géologique des plaines qui sont comprises entre le cours du Weser et de l'Ems, la mer du Nord et les premières ondulations d'Osnabruck ; ces plaines s'élèvent insensiblement au-dessus de la mer, atteignant à peine 45 mètres d'altitude, et une partie pourrait être submergée si elle n'était protégée par de puissantes digues élevées par la main des hommes.

L'auteur montre qu'elles sont géologiquement formées, de bas en haut, d'alluvions sableuses, d'argiles marécageuses de l'époque glaciaire, de sable des dunes, de tourbières, de conglomérats et de drift erratique dont les fragments appartiennent tous aux granites, gneiss, porphyres, basaltes, dolérites, calcaires fossilifères paléozoïques et crétacés de la Scandinavie. Après avoir parlé des érosions par les eaux de la mer et des oscillations du sol, il entre

(1) *Der Boden der ostfriesischen Halbinsel.* Emden, 1870. (Extrait par M. Caillaux.)

dans des considérations théoriques sur les changements orographiques et climatologiques de l'Europe septentrionale durant l'époque post-tertiaire.

M. Prestel admet avec Keilhau, Bravais et Kjèrulf une submersion de la Scandinavie pendant l'époque glaciaire; mais, en même temps, il pense qu'il existait à cette époque deux langues de terre dont l'une réunissait la Norwége à l'Écosse, tandis que l'autre barrait le Pas-de-Calais. Cette disposition des lieux, interceptant le Gulf-Stream, aurait été la cause de l'époque glaciaire pour l'hémisphère boréal.

M. Prestel admet encore qu'une partie de l'Atlantique était occupée par une Atlantide dont la disparition aurait terminé la période glaciaire boréale, et que le fond de la mer Baltique et celui de la mer du Nord se sont abaissés.

Partant de l'idée de cet abaissement postglaciaire, il y réunit l'abaissement d'environ 1 mètre par siècle, qui paraît s'être vérifié, durant l'époque historique, sur la côte formée par les alluvions de l'Escaut, du Rhin, de l'Ems, du Weser et de l'Elbe.

Si l'on supprimait l'effet protecteur des digues, et si l'on comprenait dans la mer toute la région inférieure à son niveau, les nouveaux rivages seraient marqués par une ligne courant de Bruges à Anvers et passant par Bergen, Langeweg, Utrecht, Naarden, Nunspeer, Zwole, Meppel et Dokkum.

M. Prestel estime à cent quarante siècles la durée de la submersion de la mer du Nord, et à quarante siècles le temps qu'il faudrait à la mer, s'il n'y avait pas de digues, pour atteindre les versants septentrionaux des collines de la Westphalie.

M. Prestel donne enfin de nombreux détails sur l'altitude, sur l'hydrologie, sur la climatologie de cette région, ainsi que des analyses chimiques de ses terres et des dépôts qui la constituent.

Plaines du nord de l'Allemagne.— Dans les plaines diluviennes du nord de l'Allemagne, où la constitution géologique du sous-sol nous est cachée par de puissants dépôts sableux, il peut y avoir intérêt à signaler les accidents géologiques, lors même qu'ils paraissent avoir très-peu d'importauce. C'est donc avec raison que M. L. Meyn (1) a appelé l'attention sur Schobül, Jever et la petite colline de sable sur laquelle est bâtie la ville de Groningue.

La présence, sur ces trois points, de débris calcaires, qui font

(1) *Deutsche Geol. Gesell.*, XXIII, 404.

généralement défaut dans cette région, semblerait indiquer un relèvement du fond et, de même qu'à Heligoland (1), l'existence de terrains antérieurs au terrain diluvien.

BASSIN DE L'ELBE. — M. Geinitz (2) a entrepris la description paléontologique du *Quadersandstein* dans le bassin de l'Elbe, en Saxe. Cinq cahiers de cette importante publication ont déjà paru.

Le premier est consacré aux éponges du Quader inférieur; il y en a vingt-huit espèces appartenant à douze genres différents: Spongia, Cribrospongia, Placoscyphia, Amorphospongia, Sparsispongia, Tremospongia, Cupulospongia, Stellispongia, Epitheles, Chenendopora, Elasmostoma, Siphonia.

Dans le deuxième cahier sont décrits les polypiers du même étage : Montlivaultia, Leptophyllia, Placoseris, Latimæandra, Synhelia, Psammohelia, Thamnastræa, Dimorphastræa, Isastræa, Astrocœnia.

Parmi les oursins et les crinoides, qui forment le troisième cahier, on remarque les Cidaris vesiculosa, C. Sorigneti, C. cenomanensis, C. Dixoni, Pseudodiadema variolare, Orthopsis granularis, Cyphosoma granulosum, Pygaster truncatus, Discoïdea subuculus, Pyrina Desmoulinsi, Nucleolites Fischeri, Catopygus carinatus, Pygurus lampas, Holaster carinatus, Epiaster distinctus, Hemiaster cenomanensis, Stellaster, Oreaster, Glenotremites, Pentacrinus, Antedon.

Les bryozoaires et les foraminifères sont l'objet du quatrième cahier : les premiers sont de beaucoup les plus nombreux et forment plus de trente genres.

Au nombre des brachiopodes (cinquième cahier) on peut citer les Terebratula biplicata, T. capillata, T. phaseolina, Terebratulina striatula, Terebratella Menardi, Thecidea vermicularis, Rhynchonella compressa, R. Grasiana, R. lineolata. Le cahier est complété par les rudistes (Radiolites Saxoniæ, R. agariciformis, Caprotina semistriata) et les acéphalés (Exogyra columba, E. conica, E. haliotidea, E. lateralis, E. sigmoïdea, Ostrea diluviana, O. carinata, O. hippopodium, Spondylus striatus, S. hystrix, Lima divaricata, L. interstriata, Pecten Rotomagensis, P. membranaceus, P. cenomanensis, Vala (Janira) æquicostata, V. quinquecostata.

Avec le cinquième cahier se termine la première partie de l'ouvrage, relative au quader inférieur.

(1) *Revue de géologie*, VIII, 194.

(2) *Palæontographica*, publiée par MM. Dunker et Zittel, XX, 1871 et 1872. — *Das Elbthalgebirge in Sachsen*, Cassel, 1871.

Le premier cahier de la deuxième partie est relatif aux spongiaires, polypiers, échinides et crinoïdes du Quader et du plæner supérieurs. Nous citerons les Cyphosoma radiatum, Holaster planus, Cardiaster ananchytis, Micraster cortestudinarium, M. Leskei, M. gibbus.

On remarque dans l'ensemble des fossiles qui viennent d'être énumérés, un très-grand nombre d'espèces déjà connues dans le bassin parisien. Aussi M. Geinitz a-t-il établi un parallélisme assez précis entre les diverses assises du Quader de la Saxe et celles du terrain crétacé de la France septentrionale.

HAINICHEN. — M. le professeur Charles Naumann (1) vient de faire une étude nouvelle, et sur une carte à grande échelle, de la géologie des environs d'Hainichen.

Cette région est l'une des plus intéressantes de tout le royaume de Saxe, car elle comprend du terrain silurien qui forme la partie orientale des grands dépôts qu'on retrouve dans le Voigtland et dans la Haute Franconie jusque dans le sud du Thüringer Wald.

En outre, elle présente un petit bassin houiller qui n'appartient pas au terrain houiller proprement dit, mais bien à la formation plus ancienne du Culm qui, jusqu'à présent, n'a fourni des couches combustibles exploitables que dans un petit nombre de pays.

Voici d'ailleurs, en suivant l'ordre de succession des terrains, un résumé des principales observations faites par M. le professeur de Charles Naumann :

Des schistes verts (*Grünschiefer*) de cette région, qui étaient rapportés précédemment au terrain de transition, appartiennent en réalité au micaschiste ou schiste primitif (*Urschiefer*) qui se trouve à la base des terrains. De plus ces schistes ne sont pas caractérisés par de l'amphibole, comme on le pensait; ils contiennent, en effet, de la chlorite ou peut-être du mica vert, ainsi que de la chaux carbonatée et de la pistazite.

Les schistes argileux de la vallée supérieure de l'Aschbach appartiennent vraisemblablement au terrain cambrien.

Les schistes siluriens avec graptolithes de Mühlbach et de Riechberg ont également été rencontrés entre Oberer Klinge et Goldner Hirsch.

A Cunnersdorf, il est très-remarquable qu'on observe par-dessus le terrain silurien, un étage de gneiss qui, dans le haut, passe

(1) *Erläuterungen zu der Geognostischen Karte der Umgegend von Hainichen* 1871.

au micaschiste. On peut se demander si ce gneiss a été rejeté de l'intérieur de la terre par-dessus le silurien ou bien s'il ne serait pas plutôt la partie supérieure de ce terrain qui aurait été soumise au métamorphisme. Des faits analogues ont du reste été signalés en Ecosse par sir Roderick Murchison, et plus récemment encore en Irlande (1).

La formation du *Culm* repose en partie sur le gneiss de Cunersdorf et sur des schistes verts; à sa base, elle contient des fragments de ces derniers schistes avec lesquels elle se montre en stratification discordante.

Le grès de la formation du *Culm* se trouve divisé en deux étages par une intercalation de débris granitiques; jusqu'à présent, c'est seulement dans l'étage inférieur de ce grès que les couches de combustibles ont été rencontrées.

Tandis que presque toutes les substances minérales formant le *Culm* paraissent avoir été transportées par les eaux de l'est vers le sud-ouest, c'est au contraire du sud-ouest que semblent venir les débris granitiques.

La flore fossile a été étudiée par M. le professeur H. B. Geinitz et elle montre bien, contrairement à l'opinion du docteur Volger, que les combustibles d'Hainichen appartiennent à la formation du *Culm*; cette dernière formation est du reste recouverte par le Rothliegende.

ODENWALD. — M. Benecke (2) a étudié l'Odenwald aux environs d'Heidelberg. Au-dessus du granite et du porphyre, on a immédiatement les dépôts du dyas qui ont peu d'épaisseur, mais se composent cependant : 1° de conglomérats du grès rouge, 2° de marnes, de dolomies, de minerai de fer, avec Schizodus obscurus, qui représentent le zechstein.

C'est surtout le trias qui domine dans la région. Le grès bigarré y présente plus de 330 mètres d'épaisseur. Quant au muschelkalk, il offre des caractères intermédiaires entre ceux qu'il a dans la Franconie, dans la Thuringe et dans la Souabe.

Enfin le lias et l'oolithe inférieure se montrent seulement dans le bassin de Langenbrüken.

EICHSTAETT. — M. T. C. Winkler (3) a continué l'étude des

(1) *Revue de géologie*, X.
(2) *Institut géologique de Vienne*, avril 1870.
(3) *Archives du Musée Tyler*, III. Harlem, 1871.

fossiles provenant du calcaire lithographique des environs d'Eichstaett, en Bavière. Il décrit notamment un jeune Pterodactylus micronyx (Von Meyer) et en outre un poisson qu'il nomme Coelacanthus Harlemensis.

Le genre Cœlacanthus établi par Agassiz se montre déjà dans le permien; il est très-remarquable en ce que sa nageoire caudale est traversée par la colonne vertébrale, qui se prolonge dans le milieu de la nageoire, pour former ensuite un appendice effilé, garni de rayons courts, constituant une sorte de pinceau. Aucun poisson de l'époque actuelle ne présente cette disposition.

AUTRICHE. — HONGRIE.

L'Institut impérial et royal géologique de Vienne a publié, sous la direction de M. le chevalier Fr. de Hauer, des travaux nombreux et importants, qui sont relatifs à différentes parties de l'empire.

Alpes Carniques. — Les roches qui forment la crête des Alpes Carniques étaient toutes rapportées au carbonifère. Plusieurs localités fossilifères, surtout sur le versant carinthien, ont fait douter de l'exactitude de cette détermination. Malheureusement les fossiles, bien que nombreux, appartiennent en grande partie à des espèces nouvelles. Leur ensemble présente une grande analogie avec la faune dévonienne, pourtant on y rencontre un Euomphalus, des fusulines, un Conocardium et des végétaux du subcarbonifère. Des fragments de trilobites se rapportent au genre Asaphus. Ces fossiles proviennent d'une zone de schistes argileux micacés, de grès et poudingues quartzeux, de calcschistes micacés passant à un calcaire roux et gris très-puissant, renfermant parfois des Orthoceras. M. Emile Tietze, de Vienne, ayant examiné quelques fossiles des environs de Pontebba, hésite s'il doit les rapporter au dévonien ou au silurien. M. le professeur Torquato Turamelli (1) d'Udine, par des considérations stratigraphiques, rapporte la zone fossilifère au dévonien supérieur, les poudingues quartzeux, les grès et les schistes inférieurs au dévonien inférieur, et range dans le silurien les calcaires, les calcschistes, les grauwackes et encore plus sûrement les micaschistes qui supportent la formation paléozoïque entière, puissante au moins de 2.000 mèt.

(1) *Cenni sui terreni paleozoici delle Alpi Carniche. Bulletino del club Alpino*, n° 18, 1872. (Extrait par M. de Mortillet)

RUSSIE.

KLIN. — Il existe à Klin un grès contenant de nombreuses empreintes végétales qui ont été étudiées par les géologues de Moscou et particulièrement par Auerbach. Ce grès est exploité comme pierre à bâtir et, comme il ne contient pas d'oxyde de fer, on s'en sert aussi dans la fabrication de la porcelaine. Il se retrouve à Karrowa dans le gouvernement de Kalouga; mais la stratigraphie ne permet pas de fixer d'une manière bien précise sa position dans la série géologique et, pour combler cette lacune, M. H. Trautschold (1) s'est occupé spécialement de l'étude de ses plantes fossiles. Il contient : 1 Calamites, 1 Equisetites, 1 Odontopteris, 1 Sphenopteris, 1 Reussia, 2 Asplenites, 2 Alethopteris, 6 Pecopteris, 1 Glossopteris, 1 Cycadites, 1 Thuytes, 1 Araucarites, 1 Pinus, 1 Auerbachia (genre nouveau), 1 Phyllites. Les espèces nouvelles qui sont nombreuses ont été figurées spécialement.

M. Trautschold observe que cette végétation indique des îles, pouvant appartenir à l'époque du jura supérieur ou du crétacé inférieur ou bien du crétacé moyen.

A Tatarowa, le grès de Klin repose d'ailleurs sur les couches supérieures du jura moscovite que l'on considère comme synchroniques du Portlandien; par conséquent cette végétation a commencé à se développer à l'origine du terrain crétacé, et d'après les formes qu'elle présente, M. Trautschold pense qu'elle doit s'être continuée jusque dans le dernier tiers du terrain crétacé.

En comparant quelques espèces de plantes du grès de Klin avec les plantes fossiles de l'Europe occidentale, il observe qu'Alethopteris Reichiana appartient à la craie moyenne, que les Araucarites de Klin paraissent également crétacés. D'un autre côté, Polypodites Mantelli appartient aux sables de Hastings; Pecopteris Althausi est un fossile du wealdien du nord de l'Allemagne, tandis que Pecopteris Whitbiensis est du jura moyen; Thuytes carinatus se rapproche beaucoup de Th. Germari du Wealdien Allemand, et Pinus elliptica est voisin de P. primæva de l'oolithe inférieure.

En tout cas, comme le remarque M. Trautschold, les Cycadées, les Araucarias, les Equisétacées arborescentes et les Cupressinées indiquent vers la latitude de Moscou une température beaucoup plus élevée que celle de l'époque actuelle.

(1) *Der Klinsche Sandstein*, 1870. Nouveaux mémoires, XIII.

AFRIQUE.

MAROC.

M. Maw (1) a donné des détails sur la géologie du Maroc. On y rencontre, dans la chaîne de l'Atlas, des roches métamorphiques et des porphyres avec des tufs porphyriques, puis un grès rouge et un calcaire probablement crétacé, que recouvrent des couches à fossiles miocènes. La surface de la plaine du Maroc est couverte par une croûte tufacée que M. Maw attribue à l'action de l'eau aspirée de l'intérieur à la surface et y déposant le carbonate de chaux qu'elle a emprunté aux calcaires sous-jacents. M. W. Smyth a du reste observé une couche semblable en Espagne, dans une région sujette à de fortes pluies ainsi qu'à des étés très-chauds, et il lui attribue la même origine.

Le Maroc a été également l'objet d'un travail de M. Mourlon (2). L'auteur a examiné, avec le concours de MM. Nyst et Coemans, une série d'échantillons recueillis par M. Desguin. Ces échantillons établissent la présence, à Si-Ammer, d'une couche à huîtres et à Teredina personata, qui parait représenter le terrain éocène ; elle est recouverte par un système fossilifère miocène à Balanus sulcatus et Pecten Beudanti. Par-dessus vient un tuf calcaire avec cailloux et coquilles marines, dont les dépressions sont occupées par un conglomérat à grain fin qui renferme l'Helix vermiculata. Ces deux formations se rapportent probablement à l'époque post-pliocène.

Aux environs de Tanger, il existe un ensemble d'argiles, de calcaires argileux, de macignos et de schistes verts, rouges ou noirs, qui contiennent des fucoïdes. Ce système représente le flysch alpin. Il repose sur un calcaire crétacé à inocérames avec Ostrea Nicaisei, O. scyphax, etc. M. Coquand avait autrefois rattaché au

(1) *Geol. Society*, 10 janvier 1870.
(2) *Bull. Acad. roy. de Belgique* 2e série, XXX, no 7.

grès à fucoïdes les grès et psammites de Tanger. M. Mourlon est plutôt disposé à les regarder comme l'équivalent du grès de Nubie, que M. Louis Lartet rapporte au terrain crétacé inférieur (1).

Enfin, auprès de Fez, on observe des calcaires fétides et des dolomies, semblables aux couches que M. Coquand a signalées auprès de Tétouan, en les rapportant à la période jurassique.

SAHARA.

On doit à M. Pomel (2) un travail intéressant sur la constitution géologique du Sahara, cette région, si peu connue, qui cependant a été l'objet des recherches de quelques savants, particulièrement de MM. Desor et Martins, ainsi que de MM. Ville, Vatonne, Dubocq, ingénieurs des mines en Algérie.

Après avoir démontré, par des chiffres péremptoires, que le désert du Sahara est élevé, en moyenne, de 4 à 500 mètres au-dessus du niveau de la mer, et que la seule partie qui soit réellement déprimée au-dessous de la Méditerranée est le bassin du lac Melrir, dont la dépression ne dépasse pas quelques mètres, M. Pomel s'attache à réfuter cette croyance, si généralement répandue, que le Sahara, à l'époque quaternaire, était recouvert par la mer. Réunissant à ses propres observations celles des voyageurs dignes de foi, M. Pomel passe en revue les terrains qui constituent le sol saharien. Le granite est très-développé dans le massif montagneux des Touaregs; il est recouvert par le terrain dévonien, formé de grès tantôt durs, tantôt argileux, avec Spirifer ostoliatus, S. Bouchardi, Chonetes crenulata, Terebratula daleidensis, T. longinqua. Ces fossiles ont été recueillis en beaucoup de points différents du Sahara. Les grès dévoniens supportent directement des calcaires constituant des plateaux extrêmement arides, la véritable partie difficile et dangereuse du désert, et où l'on a trouvé des fossiles de la craie : ainsi le permien, le trias, le terrain jurassique et le terrain crétacé inférieur paraissent faire entièrement défaut.

On observe, auprès de l'Atlas numidien, un affleurement peu développé de poudingues et de grès tertiaires.

Mais la formation qui recouvre les plus grandes surfaces dans le Sahara est celle des alluvions quaternaires : elles constituent un sol sablo-limoneux, dont la surface est inégalement durcie par un ciment calcaire : ce sont elles qui forment les Gours, ces escar-

(1) *Revue de géologie*, VIII, 207.
(2) *Le Sahara*, Alger, 1872.

pements de forme conique ou pyramidale, élevés de 60 à 80 mètres au-dessus des plateaux voisins, et comparables aux témoins que laissent les terrassiers pour le cubage des déblais. On y observe du gypse, qui peut-être ne fait pas partie intégrante du dépôt. Les seuls restes organisés qu'on y rencontre sont des débris de mollusques terrestres ou fluviatiles. Enfin la distribution de ces dépôts est conforme aux divisions hydrographiques actuelles dans les parties basses de chaque grand bassin.

Les dunes, qui du reste ne forment que la neuvième partie de la surface du désert, résultent d'un phénomène postérieur au dépôt de cet immense atterrissement, mais sur la vraie nature duquel on n'est pas encore fixé.

En résumé, non-seulement il n'existe aucune trace du séjour récent de la mer sur la surface du Sahara, mais il y a lieu de croire que le grand dépôt quaternaire s'est formé sous l'influence d'un régime exceptionnel de pluies. Par suite, ce n'est pas à l'existence d'une mer saharienne qu'on peut attribuer, comme on le fait souvent, les conditions particulières du climat de la période des grands glaciers de la Suisse : comme l'Europe, le Sahara subissait, à cette époque, les conséquences d'un climat tout particulièrement humide; à cet égard, la transformation a été radicale, car il y a des régions du Sahara où la pluie est un phénomène qui ne se produit guère que tous les dix ans.

ABYSSINIE.

Malgré les difficultés que présente l'exploration de l'Abyssinie, quelques hardis voyageurs ont déjà fourni des notions sur la géologie de cette contrée; parmi eux nous citerons particulièrement MM. d'Abbadie, W. Schimper, Ferret et Galinier. Plus récemment l'Abyssinie a été bien explorée par M. W. T. Blanford (1) du *Geological Survey* de l'Inde, qui a fait avec l'armée anglaise la campagne contre le roi Théodoros.

Les *roches métamorphiques* abondent dans le plateau nord de l'Abyssinie, et plus au sud, notamment aux environs d'Antalo. Elles consistent surtout en gneiss ayant un grain fin. Dans le Bogos et dans l'Habab, ce gneiss devient quelquefois granitoïde; il est d'ailleurs accompagné de schistes cristallins et en particulier de schistes amphiboliques, ainsi que de micaschistes.

(1) *Observations on the geology of Abyssinia*, 1870.

Par-dessus les roches métamorphiques, on trouve généralement, dans le nord-est du Tigré, un grès massif que M. Blanford nomme *grès d'Adigrat*, parce qu'il est bien développé autour de cette ville importante. Son principal caractère est d'être massif et de n'offrir aucune trace de stratification. Il a une épaisseur variable qui atteint 330 mètres à Sowera. L'absence de fossiles rend sa classification très-difficile. MM. Ferret et Galinier pensaient qu'il pouvait être tertiaire; d'un autre côté, M. Louis Lartet (1) regarde le grès rouge de Nubie comme crétacé. Le grès d'Abyssinie est probablement plus ancien, puisqu'il est recouvert par un calcaire paraissant être jurassique. De plus, on trouve à Chelga des couches contenant du combustible, et qui, d'après M. Blanford, semblent être de même âge que les couches à combustibles de Damuda dans l'Inde.

Le *calcaire d'Antalo*, superposé au grès d'Adigrat, est de couleur grise et ressemble beaucoup au lias du sud-ouest de l'Angleterre. A Mai Dongolo leur stratification est concordante. Les fossiles sont nombreux dans le calcaire et ont été déterminés avec le concours de MM. Stoliczka et Etheridge; ce sont en particulier des hémicidaris, des huîtres, des peignes, des modioles, des pholadomyes, des ceromyes, des trigonies : ils présentent bien des espèces nouvelles, mais, dans son ensemble, cette faune offre une grande ressemblance avec celle du jurassique moyen.

Des nappes de trapp sont intercalées dans le calcaire d'Antalo et paraissent provenir d'éruptions sous-marines, contemporaines de son dépôt; il est remarquable que les premières grandes éruptions de trapps dont on connaisse l'âge dans l'Inde appartiennent aussi à l'époque jurassique.

Deux groupes de *trapps* sont distingués par M. Blanford.

Le premier, celui d'Ashangi, est essentiellement doléritique; il est composé de basalte, généralement amygdaloïde et contenant de l'agate, des zéolites, ainsi que de la terre verte. Par son caractère minéralogique, il ressemble beaucoup au trapp de l'Inde Occidentale. On y trouve aussi des cendres ou des tufs volcaniques, ainsi que des brèches; quelquefois encore il présente des nappes scoriacées.

Le deuxième groupe, celui de Magdala, est le plus récent et se distingue du premier par une intercalation fréquente de nappes épaisses de trachyte. Dans certains cas, ce dernier est bréchiforme

(1) *Revue de géologie*, VIII, 207.

ou bien columnaire. Le trapp de Magdala couronne les collines les plus élevées et n'est recouvert par aucun autre dépôt.

En outre, des *roches volcaniques* s'observent sur les deux bords du golfe d'Aden et de la mer Rouge. Comme il existe encore des volcans actifs dans cette mer, ainsi que des cônes de déjection bien conservés, il est visible que ces roches volcaniques sont de formation très-récente et qu'elles se continuent jusqu'à l'époque actuelle.

Près de Massowa, des coquilles marines, indiquant un dépôt sub-littoral, sont associées aux roches volcaniques.

Les *sources thermales* sont très-abondantes en Abyssinie, particulièrement aux environs d'Ailat, de Zulla, de Massowa, de Komayli et dans le Danakil. Elles doivent sans doute leur existence au grand développement des phénomènes volcaniques dans cette région. Du reste, les sources ordinaires donnent souvent des dépôts immenses de tuf calcaire.

Sur la côte de l'Abyssinie, la plaine autour de Zulla est formée d'*alluvions* déposées par les rivières Haddas et Komayli. A l'entrée de chaque ravin, le niveau de la plaine se relève même brusquement, par suite de l'accumulation des détritus entraînés par les torrents.

L'île de Massowa et la côte voisine de la mer Rouge sont formés de fragments de polypiers avec des coquilles et du sable qui sont agglutinés en un calcaire impur.

M. Blanford n'a pas rencontré les moindres traces d'anciens glaciers, ni aux environs du lac Ashangi, ni sur les plateaux de l'Abyssinie : il les a cependant recherchés spécialement, car M. H. B. Medlicott en a observées dans l'Himalaya occidental; toutefois, c'est quelques degrés plus au nord et de plus à des hauteurs de 2.440 mètres au-dessus de la mer.

Enfin, en ce qui concerne sa géographie physique, l'Abyssinie présente des plateaux dont les parois sont très-abruptes ou presqu'à pic et qui sont découpés par des ravins étroits et profonds. Ainsi, la rivière Jitta coule dans une gorge résultant non pas d'une faille, mais bien de l'érosion, et dont la profondeur atteint 1.060 mètres.

Tout indique d'ailleurs que les traces d'érosion qui se montrent en Abyssinie doivent être attribuées à l'atmosphère et aux cours d'eau, mais non pas à l'intervention des eaux de la mer, non plus qu'à des vagues de translation.

LE CAP.

M. Rupert Jones (1) a trouvé dans les schistes de Witzemberg des fossiles dévoniens, parmi lesquels Orthoceras vittatum. Ces schistes avaient été considérés autrefois comme siluriens.

NATAL.

M. C. L. Griesbach (2) a publié une description et une carte géologique de la colonie anglaise de Natal. Comme on pouvait s'y attendre, sa constitution géologique est tout à fait analogue à celle de la colonie du cap de Bonne-Espérance, de laquelle elle est voisine.

A la base, on trouve du gneiss et du granite avec du micaschiste et des schistes cristallins, qui sont traversés par des dykes de diorites. Dans certaines parties il y a du calcaire saccharoïde.

Par-dessus vient le grès formant les montagnes de la Table qui appartient au terrain carbonifère. Il présente des couches horizontales, superposées tantôt aux schistes anciens et tantôt au granite. Ce grès est souvent couronné par du greenstone. Il donne un sol pauvre; toutefois, ses plateaux sont en partie recouverts de graminées qui permettent de nourrir des troupeaux.

Ensuite vient la formation de *Karoo* qui tire son nom des *karoos* ou plaines immenses de l'intérieur. Elle se compose de grès et de schistes, avec couches de combustibles. Il y a en outre des lits de blocs (Boulder bed) et des dykes, ainsi que des nappes de greenstones. Cette formation appartient probablement au trias, comme le pense M. Tate. On y a rencontré des ossements de reptiles, notamment le Dicynodon, et parmi les plantes le Glossopteris Browniana : ces fossiles se retrouvent précisément dans le trias de l'Inde.

La colonie de Natal offre d'ailleurs plusieurs gisements de houille dont l'âge n'a pas encore été établi d'une manière indiscutable. D'après M. Griesbach, la houille de Tulbagh, qui contient, dans les grès subordonnés au charbon, des calamites, des Equisetum et des Lepidodendron, appartient certainement au terrain carboni-

---

(1) *Geol. Society*, 22 novembre 1871.
(2) *Quarterly Journal*, *Geol. Soc.*, XXVII, 53.

fère. Mais le charbon de Natal, intercalé dans la formation de Karoo, lui paraît plus récent, et il est disposé à le ranger, comme l'a fait M. Tate, dans le trias.

Cependant M. G. Grey a recueilli à Cradock, dans la colonie du Cap, des plantes fossiles appartenant aux genres Lepidodendron, Sigillaria, Pecopteris, et M. Rubidge a rapporté des formations de Karoo des végétaux, dans lesquels M. Carruthers a reconnu les genres Lepidodendron, Alethopteris et Asterophyllites.

Tous ces végétaux indiquent le terrain houiller. Il se pourrait donc que les assises supérieures de la formation de Karoo, au lieu d'appartenir au trias, fussent une dépendance du terrain permien, ce que confirmerait assez bien la fréquente association de ces couches avec des mélaphyres amygdaloïdes et des tufs porphyriques.

Au-dessus des dépôts précédents, on a encore un grès ; mais il est brun, tendre, et contient un grand nombre de fossiles. Il appartient au terrain crétacé, comprenant sans doute l'ensemble du terrain, depuis le greensand inférieur jusqu'à la craie blanche qui paraît représentée par un calcaire brun et dur. Les fossiles crétacés de la colonie de Natal sont des ammonites, beaucoup de gastéropodes et de bivalves, notamment des trigonies, des huîtres, des peignes, des arches, des cardium. Il y a aussi des bois percés par des tarets. Ces divers fossiles se retrouvent en partie dans le crétacé de Trichinopoly dans l'Inde.

Suivant M. Griesbach, à l'époque crétacée, l'Inde devait être réunie à l'Afrique méridionale; il en résultait un vaste continent, bordé par des étangs marins ou par une mer dont les eaux étaient basses, comme l'accusent les fossiles observés; les bois très-nombreux que contiennent ces dépôts crétacés indiquent du reste le voisinage d'une terre.

Le rivage crétacé de l'Afrique a ensuite été soulevé depuis le Cap de Bonne-Espérance jusque vers Zanzibar, et il continue encore à l'être maintenant; car M. Griesbach a observé aux îles Bazaruto, des récifs de coraux émergés ainsi que des bancs d'huîtres avec dépôts de coquilles vivantes.

ASIE.

Bosphore. — Plusieurs géologues et, en dernier lieu, M. de Tchihatcheff avaient remarqué que le calcaire dévonien du Bosphore, caractérisé par sa couleur bleuâtre, ne contient aucune trace de fossiles. M. le docteur Abdullah Bey (1), après des recherches minutieuses, vient d'en reconnaître un grand nombre sur plusieurs points de la formation dévonienne de ces contrées. Nous citerons notamment :

Terebratula lepida, Orthis striatula, Leptæna geniculata, Spirifer Trigeri, S. pellicoi, Athyris concentrica, Crinoïdes, Pleurodyctium Constantinopolitanum, Spirifer subspeciosus, S. flabellatus, Leptæna mucronata, Orthis Gervillei, O. infundibuliformis, O. frondosa, O. emarginata, O. peltoïdes, phylloïdes, orbicularis, etc.

INDE.

Damuda. — M. W. Fl. Hughes (2) a décrit les bassins houillers du Damuda, dont les plus importants sont ceux de Raniganj et Karanpura.

La houille est associée à des minerais de fer exploitables. Toutes les formations de la vallée du Damuda sont, paraît-il, d'origine lacustre ou fluviale : on n'y trouve aucune coquille marine ; en revanche, les plantes fossiles y abondent et l'ensemble de leurs caractères les rattache à la flore triasique : certains genres, tels que Glossopteris, Tæniopteris, Priessleria, ont déjà été rencontrés dans la colonie de Queensland, au milieu d'une formation qui certainement appartient à l'époque secondaire. Avec ces plantes, on trouve des restes de Labyrinthodontes et de Dicynodontes.

RUSSIE D'ASIE.

Altaï. — A la suite d'un voyage dans l'Altaï, M. Bernhard von Cotta (3) a publié un aperçu sur sa constitution géologique.

(1) *R. Comitato geolog. d'Italia.*
(2) *Memoirs of the geological Survey of India*, VII.
(3) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, XXVIII.

Voici les principales formations qui s'observent dans ce pays : 1° les schistes cristallins; 2° les schistes siluriens; 3° les calcaires dévoniens; 4° les calcaires, schistes et grès de la période carbonifère; 5° le granite; 6° le porphyre feldspathique; 7° les gîtes métallifères; 8° les grunsteins; 9° les dépôts diluviens et récents.

Dans une partie des grès et des schistes alternants, qui sont caractérisés par la présence des nöggerathiées, M. B. von Cotta croit trouver un représentant du dyas de M. J. Marcou.

De l'absence de tout dépôt sédimentaire entre l'époque du dyas et celle du terrain diluvien, M. B. von Cotta tire cette conclusion que l'Altaï était émergé pendant ce long intervalle de temps, mais que, lors de l'époque diluvienne, il était recouvert par la mer jusqu'au pied des montagnes.

Pendant l'époque diluvienne, l'Europe paraît avoir été séparée de l'Asie orientale et méridionale par un Océan qui s'étendait de la mer Glaciale jusqu'à l'Altaï et l'Oural, et qui comprenait la mer Caspienne ainsi que la mer Noire.

Les gîtes métallifères de l'Altaï occidental présentent des caractères assez constants. Ils sont formés, d'après M. B. von Cotta, de baryte sulfatée ou de quartz avec une grande variété de sulfures métalliques, plus ou moins décomposés vers le haut. Le plus ordinairement ils se montrent en filons, bien qu'ils deviennent souvent très-irréguliers. On les trouve spécialement dans les schistes, surtout dans les schistes cristallins, quelquefois dans le porphyre, mais jamais dans le granite ni dans le grünstein; cette dernière roche éruptive, qui est la plus récente, les a même traversés en partie. Dans les chaînes basses des montagnes de Salair, le granite manque presque entièrement, et les minerais, ordinairement accompagnés de baryte sulfatée, sont intercalés dans des schistes talqueux auxquels ils sont visiblement postérieurs.

CHINE.

L'étude géologique du nord de la Chine, qui vient d'être faite par M. de Richthofen (1), offre de grandes difficultés nonseulement à cause de l'immense étendue de cette région ou de la rareté des fossiles, mais surtout à cause de la présence de couches existant à différents niveaux avec des caractères identiques. Tels

(1) *Comitato geologico d'Italia. Boll*, 9-10. 1871.

sont certains grès quartzeux, rouges ou jaunâtres, d'une grande puissance, formant des chaînes entières de montagnes, ou certains calcaires ayant beaucoup d'analogie avec ceux des Alpes, mais qui, jusqu'ici, avaient été considérés comme dévoniens.

Vers les confins de la Corée, on remarque un calcaire oolithique noirâtre avec trilobites et brachiopodes des genres Orthis et Lingula, appartenant à un horizon important, de l'épaisseur de plusieurs milliers de mètres, comprenant des alternances d'argile rosée et de grès.

Ce calcaire peut servir de base pour étudier la géologie de la Chine septentrionale, parce qu'il repose directement sur les gneiss et sur le granite; il est souvent fortement altéré par des dykes éruptifs qui le traversent.

Dans les provinces de Liaou-tung et de Shan-tung, il est recouvert par une grande masse de calcaire qui passe à des couches contenant de la houille. On ne trouve dans cette masse que des orthoceratites et des fossiles difficiles à déterminer.

Il semble que ces contrées présentent toute la série paléozoïque depuis le silurien jusqu'au terrain houiller.

Cette série est fortement bouleversée par des éruptions granitiques et porphyriques qui paraissent avoir eu leur plus grande intensité dans les environs de Pékin.

La formation carbonifère de Pékin présente un immense développement. La houille y est quelquefois changée en anthracite. C'est seulement par l'étude des fossiles qu'on parviendra à savoir si tous les dépôts carbonifères du nord de la Chine appartiennent au même niveau, ou si, comme on l'a supposé, on doit les rapporter à une époque beaucoup plus récente que l'époque houillère.

La moitié de la province de Schansi est occupée par un bassin houiller qui probablement s'étend beaucoup au delà. M. de Richthofen le considère comme un des bassins houillers les plus importants de la terre. On y connaît des couches de houille de 3 à 6 mètres, avec nombreux rognons de minerai de fer qui forment l'objet d'une industrie prospère.

Le terrain nummulitique a été reconnu par M. de Richthofen dans une île du lac Tai-hu, à 100 kilomètres environ au couchant de Shanghai. Les fossiles qu'il y a trouvés ressemblent beaucoup à ceux du calcaire nummulitique de la Dalmatie. Ce calcaire, d'une puissance de 200 mètres environ, repose sur un grès ancien, d'époque indéterminée, d'une puissance de 3.000 à 3.500 mètres. On le retrouve encore le long de la côte, dans la province de Che-Kiang.

La formation nummulitique, découverte d'abord au nord des Indes, a été ensuite reconnue au Japon et dans les Philippines, et sa constatation dans la Chine, vient combler la lacune qui existait entre l'Europe et ces contrées lointaines.

Près du lac Poyang, des schistes à kaolin sont recouverts de couches carbonifères, dont les fossiles diffèrent toutefois notablement de ceux de ce terrain; car indépendamment des productus et notamment du P. semireticulatus et de quelques spirifères, il y a beaucoup de crinoïdes, des spongiaires, ainsi que des orthocères et des Porcellia. On y observe aussi les genres Cyrthia, Orthis, Siphonotreta.

On a encore trouvé en Chine des mammifères fossiles qui ont été décrits par M. le professeur Owen (*Quarterly journal*, août 1870); ce sont : Stegodon sinensis, Stegodon orientalis, Hyæna sinensis, Rhinoceros sinensis, Tapirus sinensis, Chalicotherium sinense. La plupart de ces animaux proviennent de cavernes à ossements.

AMÉRIQUE.

ÉTATS-UNIS.

ÉTATS-UNIS. — M. O. C. Marsh (1) a décrit les mammifères recueillis par le Collége d'Yale dans la formation tertiaire des montagnes Rocheuses et spécialement sur les territoires de l'Utah et du Wyoming. Les espèces nouvelles sont les suivantes: Titanotherium anceps, Palæosyops minor, Lophiodon Bairdianus, L. affinis, L. nanùs, L. pumilus, Anchitherium gracile, Lophiotherium Ballardi, Elotherium lentum, Platigonus Ziegleri, P. striatus, P. Condoni, Dicotyles Hesperius, Hypsodus gracilis, Limnotherium tyrannus, L. elegans, Arctomys vetus, Geomys bisulcatus, Sciuravus nitidus, S. undans, Triacodon fallax, Canis montanus, Vulpavus palustris, Amphicyon angustidens.

---

(1) *Americ. Journ.* [3], II, 35, 120.

Les dépôts dans lesquels ces mammifères ont été trouvés appartiennent aux étages suivants : éocène supérieur, miocène et pliocène.

Des ossements d'oiseaux ont également été rencontrés : M. Marsh y distingue les Aquila Dananus, Meleagris antiquus, Bubo leptosteus.

DAKOTA, NEBRASKA. — M. Leidy (1) a décrit les mammifères tertiaires du Nebraska et du Dakota, dont M. Hayden a débrouillé la géologie.

Le groupe le plus ancien, dit groupe du Fort-Union ou des lignites, contient, avec des plantes dicotylédones telles que Platanus, Acer, Ulmus, Populus, de nombreux reptiles : Trionyx, Emys, Campsemys, Crocodilus.

Le groupe de Wind-River renferme des restes de Trionyx, Testudo avec de grandes espèces des genres Helix et Vivipara.

Les mammifères commencent à se montrer dans le groupe de la Rivière Blanche, où l'on trouve les Oreodon, Titanotherium, Hyopotamus, Rhinoceros, Anchitherium, Hyænodon, Machairodus.

Dans le groupe de Loup-River se rencontrent les Canis, Felis, Castor, Equus, Mastodon.

Enfin viennent les couches post-tertiaires, correspondant au Loess rhénan.

OHIO. — M. J. S. Newberry (2) a publié, avec le concours de MM. E. B. Andrews, E. Orton, L. H. Klippart, un rapport sur les progrès de la géologie dans l'État de l'Ohio en 1870 ; il s'est occupé spécialement du terrain carbonifère inférieur. On trouvera dans son rapport divers documents sur la météorologie et sur l'agriculture de l'Ohio ; on y trouvera surtout un très-grand nombre d'analyses d'argiles, de calcaires, de minerais de fer, de houilles et de terres végétales qui ont été faites par M. Wormley ; du reste, nous avons donné dans cette Revue les analyses qui étaient les plus intéressantes.

TROY. — Le terrain taconique d'Emmons, qui s'étend à l'est de la rivière Hudson, a été étudié aux environs de Troy (New-York) par M. S. W. Ford (3).

Près de Troy, on observe des schistes noirs dans lesquels il n'y a pas d'autres fossiles que les formes obscures désignées sous le nom de Discophylum peltatum (Pal. N Y. I p. 277), et deux ou trois espèces de graphtolites.

(1) *Journal of the Ac. of nat. sc. of Philadelphia*, 1869.
(2) *Report of progress in* 1870. *Geological Survey of Ohio.*
(3) *Americ. Journ.* [3], II, 32.

Plus à l'est, on a des calcaires très-fossilifères qui ont présenté à Troy 18 espèces, savoir : 5 crustacés, notamment Conocephalus trilineatus et Olenellus asaphoïdes (H) ; 1 Annélide (Saltarella) ; 2 ptéropodes appartenant à un genre nouveau que M. Ford a nommé Hyolithes et qui est connu par ses opercules se montrant en nombre immense ; 1 gastéropode ; 1 lamellibranche ; 7 brachiopodes, 1 protozoaire (Archæocyathus).

Parmi ces fossiles, 8 seulement ont été décrits par MM. Hall et Emmons ; les autres sont nouveaux.

D'un autre côté, M. E. Billings, paléontologiste du Geological Survey du Canada, ayant étudié les fossiles qui sont à la base de la formation de Potsdam, y a rencontré 15 des espèces de Troy. Il est donc très-vraisemblable que la formation inférieure de Potsdam au-dessous de Québec et la portion occidentale de la série taconique, près de Troy, sont des dépôts contemporains.

New-Hampshire. — Le territoire de l'État du New-Hampshire, tout d'abord rapporté à la période primaire, considéré ensuite par plusieurs géologues, notamment MM. Logan, Lesley et Sterry Hunt, comme du paléozoïque, même comme du dévonien métamorphique, vient d'être de nouveau classé, au moins en grande partie, comme antésilurien par la Commission géologique de l'État, placée sous la direction de M. C. H. Hitchcock (1).

Il paraît qu'on trouve dans le New-Hampshire l'étage laurentien, constitué par des gneiss porphyriques et des granites ; puis vient le groupe labradorien du Canada, qui est caractérisé par la présence de la labradorite. Enfin on observe dans les montagnes Blanches un gneiss riche en andalousite.

Toutes ces roches sont nettement antésiluriennes et supportent, en stratification discordante, la série formée par le groupe de Coös, riche en silicates d'alumine sans alcalis, andalousite, staurotide, etc. ; le groupe de Merrimac, formé de schistes micacés et de quartzite ; enfin les schistes talqueux de la rivière Connecticut, qui équivalent à la partie métamorphique du groupe de Québec.

Tennessee. — M. Safford (2) a publié un travail étendu sur la géologie de l'État de Tennessee. Les diverses formations y sont désignées sous des noms locaux, d'après les types propres à l'État en question. Il y a une lacune complète entre la craie et le terrain

(1) *Geol. Mag*, IX, 126.
(2) *Geology of Tennessee*. Nashville, 1869.

houiller ; mais les formations inférieures sont richement représentées ; les plantes houillères appartiennent à la zone des sigillariées. C'est le groupe de Potsdam qui offre le plus de complications. L'auteur y distingue six étages, développés aux environs de Knoxville sous la forme de dolomies, de schistes et de grès.

GOLFE DU MEXIQUE. — M. E. W. Hilgard (1) a donné une carte géologique du golfe du Mexique. La côte sur laquelle coule le Mississipi présente successivement les terrains paléozoïques, le crétacé, l'éocène avec lignites qui occupe un vaste triangle dont la base est vers le rivage, ainsi que les dépôts quaternaires et modernes qui ont une très-grande importance sur les rives du fleuve et tout le long du rivage vers ses embouchures.

ANTILLES.

DOMINIQUE. — M. Lechmere Guppy (2) a donné un aperçu de la géologie de l'île de la Dominique. C'est un massif volcanique dans lequel il n'y a pour ainsi dire pas de plaines : les pentes des montagnes arrivent jusqu'à la mer et s'y terminent souvent par des falaises abruptes. Les trachytes abondent et des sources sulfureuses, presque bouillantes, existent sur toute la surface de l'île. Entre deux formations volcaniques, on constate l'existence d'un léger dépôt marin, véritable récif corallien qui, d'après les polypiers et les mollusques qu'il contient, a dû se former à l'époque pliocène, alors que le niveau de l'île, entre deux périodes d'activité volcanique, était plus bas d'environ 100 mètres.

GUYANE ANGLAISE.

M. Sawkins (3) a fait l'exploration géologique de la Guyane anglaise : ses observations ont porté sur le district de Pomeroon, le long des rivières Cuyuni, Mazuruni, Demerara, Essequibo et Rupununi. Les roches rencontrées consistent en granites et roches métamorphiques, recouvertes par un grès qui forme de hautes montagnes, dans le centre de la colonie, et que l'auteur regarde comme

(1) *American Journal* [3], II, 391.
(2) *Geol. Mag.*, IX, 75.
(3) *Geol. Society*, 24 mai 1871.

identique ou presque identique avec le grès du Venezuela, du Brésil et de la Patagonie.

Il paraîtrait, d'après M. Tate, que les grès de la Patagonie contiennent des fossiles pliocènes ou pleistocènes; tandis que les grès du bassin de l'Orénoque seraient miocènes.

GROËNLAND.

L'expédition scientifique au Groënland, dirigée par M. Nordenskjoeld (1), a permis de recueillir un assez grand nombre de plantes fossiles, appartenant probablement à l'étage urgonien, car cette flore ressemble à celle de Wernsdorf dans les Carpathes. Le gisement de ces plantes est un schiste noir qu'on observe à Kome, sur le côté nord de la presqu'île de Noursoak. 43 espèces ont été déterminées par M. Heer (2), parmi lesquelles 24 fougères, 5 cycadées, 8 conifères, 3 monocotylédonés : une feuille de peuplier représente seule les dicotylédonés, et c'est le plus ancien spécimen de cette famille qui ait été trouvé jusqu'ici. Il est à remarquer que les Sequoias et les Pins découverts dans cette formation se rapprochent beaucoup des types tertiaires.

Sur le côté sud de la presqu'île de Noursoak, la flore des schistes paraît plutôt appartenir à la craie supérieure. Il y a 24 espèces de dicotylédonés, parmi lesquelles des peupliers et des magnolias : on trouve aussi 11 espèces de fougères et une seule cycadée.

En somme, le caractère général de la flore du Groënland, du moins pour la partie provenant de la craie inférieure, est nettement tropical.

Ces plantes ne sont pas les seules qui aient été rapportées du Groënland par M. Nordenskjoeld. Il en est d'autres à l'aide desquelles M. Heer a reconnu l'existence d'un gisement crétacé supérieur et de deux ou trois miocènes.

Il est à remarquer que, dans tous ces gisements, même dans ceux qui appartiennent à l'urgonien, les couches à végétaux fossiles alternent avec des coulées de basalte.

(1) *Geol. Mag.*, IX, 71.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 170.

GÉOLOGIE AGRONOMIQUE.

La constitution minéralogique et géologique du sol exerce, après le climat, la plus grande influence sur le développement des végétaux, et par suite sur l'agriculture. Il est facile de reconnaître cette influence, même dans les pays depuis longtemps cultivés; par exemple, en France, lorsqu'on descend des montagnes granitiques du Plateau central dans les plaines calcaires qui l'environnent.

Elle est encore plus évidente dans les pays qui ne sont que peu ou point cultivés. Ainsi, en Abyssinie, M. Blanford a très-bien constaté que les plateaux formés par le grès sont à peu près stériles, tandis que de la verdure recouvre au contraire les plateaux basaltiques. Dans la Nouvelle-Calédonie, certains sols magnésiens et ferrugineux paraissent, d'après MM. J. Garnier et Balansa, être extrêmement rebelles à la végétation.

Les cartes agronomiques ont surtout pour but de mettre en relief cette influence du sol sur l'agriculture, et nous allons maintenant résumer, dans un chapitre spécial, en les groupant toujours dans l'ordre géographique, les divers travaux qui sont relatifs à ces cartes, ainsi qu'à la géologie agronomique.

ROYAUME-UNI. — Des recherches de géologie agronomique ont été faites dans ces dernières années sur plusieurs parties de l'Angleterre; nous mentionnerons, par exemple, celles de M. Crayston Webster sur le Westmoreland, de M. Gilbert Murray sur l'Huntingdonshire, du Révérend James C. Clutterbuck sur le Middlesex (1).

FRANCE. — En France, différents géologues se sont occupés d'une manière spéciale de l'influence exercée sur l'agriculture par la constitution minéralogique du sol : tels sont M. Berthaud pour le département de Saône-et-Loire, M. Ebray pour le département de la Nièvre, MM. Falsan et Locard pour le Mont d'Or Lyonnais; en outre M. Meugy a fait paraître les leçons élémentaires de géologie appliquée à l'agriculture qu'il a professées à l'École normale primaire de Troyes.

POITOU. — M. de Longuemar a terminé la publication de

(1) *Royal agricultural Society.* 1868, 1869.

ses études géologiques et agronomiques qui servent de complément et d'explication à ses cartes du département de la Vienne.

Il distingue dans le Poitou : 1° les *sols siliceux* des plateaux ; 2° les *sols argileux*, *marneux* et *argilo-calcaires* ; 3° les *sols calcaires* ; 4° les *sols de transport* qui reposent sur le fond des grandes vallées et qui, lorsqu'ils sont humides, deviennent tourbeux.

M. de Longuemar examine aussi les rapports qui existent entre la nature géologique du sol et leur culture, leur valeur, leur rendement, les eaux qui les arrosent et enfin l'ensemble de leurs propriétés.

TOURAINE.—M. l'abbé Chevalier et M. Charlot (1) ont donné une carte agronomique de la partie de la Touraine qui se trouve au nord de la Loire.

Les régions agronomiques distinguées sont au nombre de six et elles correspondent à des sols distincts par leur composition minéralogique ou géologique, aussi bien que par leurs cultures.

1° La *région maraîchère* s'étend dans les vallées basses ou hautes. Elle se compose de sables d'alluvion qui sont limoneux et faciles à travailler.

2° La *région herbifère*, couverte de prairies naturelles, comprend la partie la plus argileuse des alluvions des vallées. Ces prairies de la Touraine sont du reste bien inférieures aux herbages de la Normandie, et elles n'ont même pas de réputation. Nous sommes porté à croire que cela doit surtout être attribué à ce qu'elles ne sont pas aussi riches en phosphates ; car, en France, des phosphates ont été rencontrés dans les terrains qui portent les herbages les plus renommés pour l'engraissement du bétail.

3° La *région vitifère* occupe le flanc des coteaux. Elle comprend, d'une part, les vignes blanches, se trouvant surtout sur un sol crayeux ou calcaire ; d'autre part, les vignes rouges qui se plaisent au contraire sur un sol dépourvu de calcaire et extrêmement siliceux, tel que l'argile à silex.

4° La *région forestière* s'étend particulièrement sur les parties des plateaux qui sont formés par de l'argile à silex ; elle comprend les bois et les landes.

5° La *région du blé* présente des terrains variés dans leur composition minéralogique et géologique, à l'exception toutefois des sables siliceux.

6° La *région du seigle* est au contraire spécialement celle des sables siliceux.

---

(1) *Études sur la Touraine.*

Fontaine-Française. — Une carte agronomique du canton de Fontaine-Française (Côte-d'Or) a été publiée par M. R. E. Gascon (1). Exécutée à l'échelle du 60.000e, elle fait connaître, par un système de couleurs et de signes conventionnels, les terrains calcaires et non calcaires, ainsi que les principales espèces de terres végétales. Elle indique aussi les terres qui, étant argileuses ou siliceo-argileuses, sont, par cela même, imperméables et trop humides, en sorte qu'elles demandent à être drainées.

Belgique. — A l'exemple de Dumont, M. C. Malaise (2) a fait une carte géologique agronomique de la Belgique.

Les terrains agricoles y sont divisés en régions caractérisées par la composition de leur sol et de leur sous-sol ainsi que par leurs cultures. Ces régions se subdivisent elles-mêmes en zones, qui présentent entre elles des différences de moindre importance que celles qui distinguent les régions. En outre, comme dans la carte agronomique de l'Aveyron, par M. Boisse, les régions et les zones sont coloriées de façon que la teinte représente la composition du sol : des lettres ou symboles indiquent d'ailleurs, lorsqu'il y a lieu, à quelle formation géologique elles correspondent.

M. C. Malaise admet neuf régions agricoles pour la Belgique :

1° La *région poldérienne;*

2° La *région limoneuse*, comprenant la zone limoneuse proprement dite ou la Hesbaye et le pays de Herve ou le Limbourg ;

3° La *région sablo-limoneuse;*

4° La *région sablonneuse*, qui comprend les Dunes, les Flandres, et la Campine ;

5° La *région alluviale;*

6° La *région condrusienne*, qui se divise en une zone calcareuse et une zone quartzo-schisteuse ;

7° La *région crétacée;*

8° La *région jurassique* ou luxembourgeoise, qui comprend trois zones : la première calcareuse ; la seconde argileuse et marneuse, et la troisième sablonneuse ;

9° La *région ardennaise*.

—Ajoutons que M. H. M. Jenkins (3) a publié, en partie d'après

---

(1) *Carte géognostique agricole*, 1867.

(2) *Carte géologique agricole ou agronomique de Belgique*, par M. C. Malaise. 1868. Bruxelles.

(3) *Royal agricultural Society* [2] VI. 1870.

les travaux de Dumont et d'Houzeau, une petite carte agronomique de la Belgique. Quatre régions seulement y sont distinguées :

1° La *région du nord*, qui est formée par le sable de la Campine;

2° La *région centrale*, qui correspond au limon de Hesbaye;

3° Le *plateau du sud*, qui comprend le Condroz et l'Ardenne;

4° Les *alluvions*, parmi lesquelles M. Jenkins classe tous les dépôts du fond des vallées, ainsi que les polders ou terrains conquis sûr la mer et à l'embouchure des fleuves.

États-Unis. — Enfin, de même que la plupart des descriptions géologiques publiées aux États-Unis, le rapport du *Geological Survey* de l'Ohio pour l'année 1870 contient beaucoup de données agricoles très-intéressantes (1).

La partie de ce rapport qui traite plus spécialement de l'agriculture est due à M. John H. Klippart; on y trouvera un grand nombre d'analyses de plantes et de terres végétales.

---

(1) J. S. Newberry. *Geological Survey of Ohio.*

CINQUIÈME PARTIE.

GÉOLOGIE DYNAMIQUE.

MODIFICATIONS DES ROCHES*.

Occupons-nous maintenant des diverses modifications que peuvent subir les roches et commençons par étudier le pseudomorphisme ainsi que la production des minéraux.

Production des minéraux.

Nous donnerons d'abord, d'après M. le docteur C. W. C. Fuchs (1), un résumé concis des nombreuses recherches qui ont été faites sur la production des minéraux, car elles se rattachent d'une manière intime à l'étude du métamorphisme.

Parmi les divers savants qui se sont occupés de la production des minéraux, on peut citer James Hall, de Leonhard, Becquerel, Wöhler, Mitscherlisch, G. Rose, Ebelmen, de Sénarmont, Durocher, Daubrée, Drevermann, Kuhlmann, Charles Sainte-Claire Deville et, dans ces dernières années, Henry Sainte-Claire Deville, ainsi que plusieurs de ses élèves, Debray, Troost, Hautefeuille, Caron, Le Chartier, travaillant sous sa direction dans le laboratoire de l'École Normale.

Les principales méthodes auxquelles on a eu recours pour obtenir des minéraux cristallisés sont au nombre de dix. Elles peuvent comprendre d'ailleurs des subdivisions que nous allons faire connaître en les appuyant au besoin par quelques exemples.

---

* Cette partie a été traitée par M. Delesse.

(1) *Die künstlich dargestellen Mineralien.* Harlem, 1872.

I. — *Actions moléculaires.*

a. Spontanément (Soufre, acide arsénieux, argent, quartz).
b. A haute température (Calcaire changé en calcaire saccharoïde).
c. Dans des dissolutions (Calcaire changé sous l'eau en chaux carbonatée spathique; sulfure de mercure dans la potasse donnant des cristaux de cinabre).
d. Dans des courants de gaz (Hausmannite cristallisant dans l'hydrogène et scheelite dans le gaz acide chlorhydrique).

II. — *Sublimation.*

a. A l'abri du contact de l'air (Arsenic, galène, orpiment).
b. Dans des gaz qui n'agissent pas chimiquement (Sulfure de cadmium cristallisant dans l'hydrogène en Greenokite).

III. — *Décomposition des vapeurs à haute température.*

a. Chlorures et hydrogène sulfuré (Cuivre sulfuré, blende, antimoine sulfuré, pyrite de fer, cuivre gris, etc.).
b. Chlorures avec vapeur d'eau (Quartz, corindon, rutile, fer oligiste, étain oxydé).
c. Fluorures avec vapeur d'eau (Rutile, etc.).
d. Fluorures avec acide borique (Staurotide, zircon, gahnite).

IV. — *Action de gaz et de vapeurs sur des corps solides fortement chauffés.*

(Quartz, gahnite, rutile, willemite.)

V. — *Fusion.*

a. Cristallisation de masses homogènes fondues (Cuivre, argent, plomb, péridot, feldspath, augite, antimoine sulfuré).
b. Cristallisation dans des druses en laissant écouler la partie restée fluide (Soufre, bismuth).
c. Cristallisation en fondant ensemble les différents éléments (Augite, humboldtilithe, feldspath, pyromorphite, glaserite, apatite).
d. Fusion avec des scories qui s'opposent à un refroidissement trop rapide (Boracite en fondant ses éléments avec un excès de chlorures de magnésium et de sodium).
e. Cristallisation par séparation de corps qui, à l'état de fusion, servent de dissolvants (Spinelle, péridot, corindon, diopside obtenus au moyen du borax et de l'acide borique).

VI. — *Dissolution dans des liquides.*

a. Évaporation du dissolvant à une température inférieure à 100° (Soufre dans le sulfure de carbone; gypse dans l'eau).

b. Évaporation du dissolvant à une température supérieure à 100° (Cristallisation de l'argent et de l'or des amalgames; cristallisation du spinelle par l'évaporation de l'acide borique, et de la perowskite par l'évaporation du carbonate de potasse).

c. Sursaturation à une température élevée et séparation par refroidissement (Graphite dans la fonte, sel marin dans l'eau).

d. Dissolution par un gaz contenu dans le dissolvant et séparation par le dégagement de ce gaz (Chaux carbonatée dissoute dans de l'eau chargée d'acide carbonique).

e. Dissolution à une haute température et sous une forte pression.

α. (Apophyllite régénérée par dissolution. Barytine obtenue en chauffant du sulfate de baryte avec du carbonate de soude. Pyrite obtenue en chauffant du sulfate de protoxyde de fer avec du sulfure de potassium vers 150°).

β. Décomposition à une température plus haute et sous une pression plus forte (Fer spathique obtenu en chauffant du sulfate de fer avec du carbonate de soude).

γ. Sans une haute température (Azurite produite par l'action de la craie sur le nitrate de cuivre, à une pression de 7 atmosphères).

ε. Sous une forte pression (Sassolite se formant dans une dissolution de borax dans l'acide chlorhydrique).

f. Séparation d'une dissolution par une réduction lente.

α. Au moyen de matières organiques (Avec le bois, le grisou, l'œthyl, une dissolution de sulfate de cuivre donne du cuivre sulfuré; une dissolution de sulfate de zinc de la blende; une dissolution de sulfate de fer de la pyrite de fer).

β. Au moyen de matières inorganiques (Bismuth séparé du nitrate de bismuth par le zinc).

VII. — *Combinaison lente de dissolutions étendues.*

Baryte sulfatée et anglésite obtenues en faisant agir l'une sur l'autre, par l'intermédiaire d'un fil, des dissolutions qui précipitent ces substances par double décomposition.

VIII. — *Électrolyse.*

(Argent, plomb, etc.)

IX. — *Diffusion de dissolutions.*

(Krokoïse, cérusite, anglésite, etc.)

X. — *Combinaison lente de substances agissant l'une sur l'autre.*

a. Sans haute température et sans forte pression. (Le gypse dans une dissolution de silicate de potasse donne de la chaux carbonatée et du quartz. Le fer dans le phosphate d'ammoniaque donne de la vivianite.)

b. A une haute température et à une forte pression. (Divers minéraux, tels que l'arragonite, la malachite, etc., ont été obtenus, en chauffant à 150°, différentes substances réagissant lentement l'une sur l'autre, qui avaient été mises dans un tube fermé avec de l'éther ou du sulfure de carbone.)

c. Par des courants galvaniques. (Formation de quartz, de vivianite, de galène, etc.)

Pseudomorphisme.

Le pseudomorphisme, ou l'altération subie par une substance avec conservation de sa forme, peut avoir lieu soit sur des minéraux ou des corps non organisés, soit sur des corps organisés.

Minéraux.

Parmi les pseudomorphismes de minéraux, M. A. Reuss (1) mentionne : 1° le manganèse carbonaté changé en psilomélane, transformation qui est analogue à celle présentée si fréquemment par le fer spathique ; 2° l'alabandine changé au contraire en manganèse carbonaté.

M. Becquerel père (2) a publié les résultats d'une nouvelle série d'expériences qu'il a entreprises, depuis un certain nombre d'années, dans le but de produire des minéraux au moyen de la combinaison lente de diverses substances.

Ce savant s'est servi, soit d'un tube fêlé, rempli d'une dissolution métallique et plongeant dans une dissolution alcaline contenant elle-même un oxyde métallique, soit d'un diaphragme poreux en porcelaine dégourdie, soit d'un vase en verre fermé hermétiquement et contenant une dissolution acide ou alcaline dans laquelle plongeait une substance minérale.

En particulier, mettant un morceau de gypse en fer de lance dans une dissolution de bicarbonate de potasse contenue dans un vase fermé hermétiquement, M. Becquerel a constaté, avec le concours de son préparateur M. Guérout, que le gypse s'était recouvert d'une enveloppe épaisse de cristaux d'arragonite, tandis qu'avec une dissolution de sous-carbonate, il s'était au contraire recouvert de cristaux rhomboédriques de chaux carbonatée.

De la galène plongée pendant vingt ans dans une dissolution de bicarbonate de potasse a donné des cristaux de cérusite.

A l'aide du nitrate de cuivre et du bicarbonate de soude agissant sur du calcaire poreux, M. Becquerel a transformé complète-

(1) *Neues Jahrbuch.* 1871. 291.
(2) Association scientifique de France.—Voir aussi *Revue de géologie*, VII, 312.

ment ce dernier en malachite ayant conservé le même grain; c'est un exemple intéressant d'épigénie ou de pseudomorphisme du calcaire.

Corps organisés. — Têts silicifiés.

Quelques têts de mollusques appartenant à l'étage de la craie caractérisé par le micraster cor testudinarium, ont été analysés par M. E. Savoye (1), en sorte qu'il est facile d'apprécier les altérations qu'ils ont subies dans la fossilisation :

A. Inoceramus Lamarckii.
B. Inoceramus indéterminé.
C. Micraster cor testudinarium de la partie supérieure de l'étage.
D. Micraster cor testudinarium de la partie inférieure de l'étage.

	DENSITÉ.	Silice insoluble.	Silice soluble.	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3
A	2,578	65,17	0,21	31,86	0,38	2,50
B	2,545	64,70	»	32,63	0,58	2,00
C	2,495	7,03	»	90,26	0,53	0,17
D	»	88,37	»	8,80	»	2,27

On voit que tous ces fossiles ont été plus ou moins silicifiés; par conséquent il faut admettre que, depuis son dépôt, la craie a été traversée par des infiltrations de silice gélatineuse, telles que celles qui peuvent être fournies aux eaux souterraines par les silex.

L'acide phosphorique a été spécialement recherché dans ces fossiles; mais il est à remarquer qu'il y fait généralement défaut; on en a seulement trouvé 0,005 dans le têt d'inocérame qui est désigné par B.

Hydrosilicates moulés dans des fossiles.

Il arrive quelquefois que des hydrosilicates se moulent à l'intérieur des fossiles; c'est en particulier ce qui a lieu pour la glauconie qui, dans divers terrains, présente fréquemment la forme de foraminifères.

Récemment M. Dawson a signalé, dans un calcaire du silurien supérieur, des moules de coquilles qui paraissaient appartenir à des murchisonia; ils consistaient en un hydrosilicate verdâtre dont l'analyse a été faite par M. Sterry Hunt (2):

SiO^2	Al^2O^3	FeO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
35,32	22,66	21,42	6,98	1,49	0,67	11,46	100,00

Cette composition, comme le remarque M. Hunt, est à très-peu près celle de l'iollyte.

(1) *Société des sciences de Lille* [3], VIII, 446.
(2) *American Journal* [3], II, 57.

Os altérés par la fossilisation.

Des analyses comparatives ont été faites sur une côte récente de lamantin (A) et sur une côte ancienne du même animal (B). Cette dernière, dure, dense, à structure un peu fibreuse, avait été ramenée d'une profondeur de 200 mètres par un sondage opéré sur les côtes d'Amérique, dans le lit du Gulf-Stream (1).

	POIDS spécifique.	PHOSPHATE de chaux.	PHOSPHATE de fer.	CaO,CO^2	SiO^2	EAU et substances organiques.	Somme.
A	2,07	58,16	»	4,52	»	36,69	99,37
B	2,83	62,40	7,60	26,47	0,34	2,67	99,48

On voit bien par ces analyses quelles sont les modifications apportées par la fossilisation dans la densité et dans la composition de l'os: la densité a augmenté et les matières organiques ont diminué; il s'est formé du phospate de fer et il y a plus de phosphate de chaux, ainsi que de carbonate de chaux; du reste, ces modifications sont analogues à celles qui ont été constatées précédemment dans des recherches semblables (2).

Endomorphisme.

L'endomorphisme ou l'influence que la roche encaissante exerce sur la composition minéralogique d'un filon devient surtout bien sensible et facile à étudier lorsque ce filon est métallifère (3).

Filons cuprifères.

LAC PORTAGE. — M. Pumpelly (4) a signalé au lac Portage un filon cuprifère qui a pour gangue du quartz, de la calcite, un carbonate de chaux magnésien et ferrifère. Ses minerais sont habituellement la chalcocite, la bornite, la whitneyite, la domeykite; mais vient-il à traverser des Spilites amygdalaires, ses sulfures et ses arséniures de cuivre disparaissent et sont alors remplacés par du cuivre natif.

Lorsque ce filon traverse la syénite, il l'a d'ailleurs imprégnée de chalcopyrite, de bornite et plus rarement de chalcocite (cuivre sulfuré).

(1) *R. Comitato geologico d'Italia*. 1871, p. 228.

(2) Delesse. *Recherches de l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre*. — *Recherches sur les pseudomorphoses*, 1859. — *Revue de géologie*, III, 175.

(3) *Revue de géologie*, IV, 130; V, 135.

(4) *American Journal* [2], II, 347.

Décomposition.

Formation du kaolin.

La kaolinisation des roches feldspathiques est assez peu connue jusqu'à présent. On peut observer toutefois qu'elle ne se produit pas, ou seulement avec une très-grande lenteur, sous un climat bien égal et absolument sec, comme celui de l'Égypte ; car, dans ce pays, les monuments granitiques les plus anciens n'ont pas éprouvé d'altération. Il en est autrement sous un climat inégal, humide ou froid, surtout lorsqu'il présente des variations extrêmes de température. En effet, à Saint-Pétersbourg, le granite, même lorsqu'il a été bien poli, se détruit rapidement, comme il est facile de le reconnaître par le mauvais état dans lequel se trouve actuellement la colonne de l'empereur Alexandre.

D'un autre côté, lorsque le granite est enfoui dans des terrains humides, il se kaolinise rapidement ; c'est en particulier ce que nous avons pu constater sur des meules en granite qui ont été rencontrées dans les fouilles d'Alise-Sainte-Reine, en Bourgogne, et remontaient seulement au temps de Jules César.

En outre, M. A. Piquet, (1), qui exploite des mines de kaolin dans les granites de Cercedilla, sur le versant ouest de la vallée du Guadarrama, a reconnu que ces granites, quand ils sont secs, peuvent bien présenter un aspect fendillé et un commencement de décomposition, mais qu'ils n'ont pas été changés en kaolin. C'est plus spécialement à l'action des eaux que leur kaolinisation doit être attribuée. Lorsque les granites ou les pegmatites sont complétement désagrégés et à l'état de sable, il suffit même de les étendre sur une aire et de les laisser exposés, pendant quelque temps, à l'air, à la pluie et aux variations atmosphériques pour qu'ils se transforment en kaolin.

A Cercedilla, dans les filons kaoliniques, on rencontre quelquefois des dépôts noirs qui forment des bandes parallèles et qui proviennent des eaux d'infiltration. D'après une analyse donnée par M. Piquet, ces produits de la décomposition du granite sont essentiellement composés d'hydroxydes de fer et de manganèse, mélangés avec un peu de carbonate de chaux.

Formation d'efflorescences salines.

M. A. H. Vorthen (2) a observé des efflorescences d'epsomite

(1) *Mémoires de la Société des ingénieurs civils.*
(2) *Geological Survey of Illinois :* I, 492.

(sulfate de magnésie) dans le grès de Chester, près de l'Ohio, dans l'Illinois.

On sait du reste que les roches pyriteuses, notamment les marnes et les argiles, présentent souvent des efflorescences qui sont formées de sulfate de chaux et de magnésie, et qui proviennent de l'oxydation de leurs pyrites.

Substances minérales enlevées à la houille par l'eau chaude.

Mettant en digestion de la houille finement pulvérisée, de Straitsville (Ohio), avec cinq fois son poids d'eau bouillante, M. Wormley (1) a constaté qu'au bout de cinq heures la dissolution aqueuse contenait pour 100 de houille :

Fe^2O^3	CaO	MgO	KO,NaO	PO^5	SO^3	Cl	Somme.
0,0008	0,0120	0,0128	0,0100	0,0025	0,0096	0,0052	0,0529

La nature des substances minérales qui, dans ces conditions, sont enlevées à la houille, est utile à connaître, ainsi que leur proportion, bien qu'elle soit très-faible ; car de l'eau chaude se trouve nécessairement en contact avec les différentes roches dans l'intérieur de la terre, et l'expérience précédente nous permet d'apprécier l'action qu'elle exerce sur la houille.

Péridot devenant rouge par la chaleur.

Du péridot ayant une couleur rouge s'observe quelquefois dans les laves, notamment dans celles du lac de Laach et de l'île Bourbon. M. le professeur C. W. C. Fuchs (2) a constaté qu'il est facile de donner cette couleur au péridot, en le maintenant à la température rouge, pendant trois quarts d'heure, devant la flamme de la lampe d'émailleur. Dans cette expérience, le minéral reste transparent, mais il devient rouge par suite de la formation d'un silicate d'oxyde de fer.

Le péridot rouge des laves peut donc être attribué de même à des phénomènes de réchauffement et d'oxydation.

Métamorphisme de contact.

Oxydes de fer et calcaire.

ILE D'ELBE. — A l'île d'Elbe, M. J. Cocchi (3) a signalé un banc

(1) *Geological Survey of Ohio.* 1870, 429.
(2) *Neues Jahrbuch :* 1869, 577.
(3) D'Achiardi : *Mineralogia della Toscana*, 1872.

de fer spathique qui est en contact avec le calcaire saccharoïde, et le sépare de filons d'hématite et de fer oxydulé.

Mélaphyre et roches diverses.

RIESENGEBIRGE. — Suivant M. G. Tschermak (1), au contact du mélaphyre du Riesengebirge avec diverses roches, l'on observe de l'opale, de la calcédoine, des jaspes, ainsi que des zones silicifiées.

Au contact du mélaphyre avec le calcaire, l'on rencontre du reste des dépôts de fer carbonaté et de limonite.

Métamorphisme général.

Leptynite.

SAXE. — D'après l'étude qu'il a faite du granulite (leptynite) de la Saxe, M. A. Stelzner (2) est conduit à le considérer comme une roche métamorphique et non pas comme une roche éruptive. En effet, il existe fréquemment des passages entre les différentes variétés du granulite de la Saxe, celle qui est normale se transformant en variété schisteuse ou grenue, c'est-à-dire en gneiss ou bien en granite.

D'un autre côté, le granulite trappéen s'y montre en bancs qui alternent très-souvent, en sorte que le tout doit être considéré comme appartenant à la même formation.

C'est également la conclusion à laquelle ont été amenés depuis longtemps M. Élie de Beaumont et les géologues qui ont étudié le granulite des Vosges.

STRATIGRAPHIE SYSTÉMATIQUE.

SYSTÈMES DE MONTAGNES.

MOUVEMENTS DE L'ÉCORCE TERRESTRE.

SOULÈVEMENT DU PAYS DE BRAY. — M. de Lapparent (3) a précisé l'âge du soulèvement du Pays de Bray. Il a remarqué d'abord que le

(1) *Die porphyrgesteine Oesterreichs.*
(2) *Neues Jahrbuch :* 1871, 246.
(3) *Bull. Soc. géol.*, XXIX, 230. — *Comptes rendus*, 8 avril 1872.

fait dominant de ce soulèvement est l'existence d'une grande cassure, alignée Nord 45 à 46° Ouest, et sur le bord abaissé de laquelle les couches jurassiques et crétacées sont inclinées sous un angle considérable, tandis que du côté du bord élevé la série des assises est régulière et l'inclinaison constante et peu supérieure à 3,5 p. 100. Cette grande cassure s'observe sans interruption depuis Neufchâtel-en-Bray jusqu'à Noailles et, au delà du Pays de Bray, elle est continuée sous la forme d'une falaise de craie très-caractéristique qui s'étend jusqu'à la forêt de Chantilly. Sur ce dernier parcours, on voit les assises tertiaires relevées s'appuyer sur les flancs de la falaise crayeuse, et l'inclinaison affecte le calcaire grossier supérieur tandis que le grès de Beauchamp en est exempt. La grande dislocation du Bray s'est donc produite entre le calcaire grossier et les sables de Beauchamp. De plus, l'étude de la faille de la vallée de la Seine montre que cette faille reproduit en petit, et en ordre inverse, les caractères de celle du Bray, en sorte qu'il paraît légitime de considérer la cassure du Bray, d'une part, et celle de la Seine, d'autre part, comme les deux faces d'un même voussoir de l'écorce terrestre, soulevé par le phénomène qui a fait venir au jour les terrains jurassiques dans le Bray.

SOULÈVEMENT DU JURA DÔLOIS. — M. Jourdy (1) a suivi, dans le Jura dôlois, les traces du soulèvement qui a affecté le terrain jurassique postérieurement au dépôt de l'étage bathonien. Dans cette région, le bathonien moyen forme les escarpements supérieurs des vallées. C'est seulement au pied de ces escarpements qu'on observe le bathonien supérieur, disloqué et fracturé de mille manières, et sur la surface duquel s'est déposé, en stratification transgressive, l'étage oxfordien qui, de cette manière, existe le plus souvent sur les flancs des pentes dont le sommet appartient à la grande oolithe. M. Jourdy attribue même à ce soulèvement postbathonien le fendillement du bathonien supérieur en plaquettes formant ce qu'on appelle la dalle nacrée, et sur plusieurs points il a constaté l'existence d'un poudingue, cimenté par une argile jaune durcie, et qu'il regarde comme représentant la surface de glissement des roches dérangées par le soulèvement.

PYRÉNÉES ET CORBIÈRES. — On doit à M. H. Magnan (2) une carte, accompagnée de coupes, mettant en évidence les nom-

(1) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 294.
(2) *Mémoires de la Soc. géol. de France*, 2ᵉ série, t. IX, nº 3.

breuses failles linéaires qui accidentent le terrain crétacé inférieur dans la région pyrénéenne. Ces failles, dont les plus importantes sont, pour les Pyrénées, celles du Lenz, de Camarade, de l'Arize, de Castelnau, de Durban, de Soueix et, pour les Corbières, celles du Tauch, de la Berre et d'Opoul, se poursuivent sur près de 400 kilomètres de longueur. Les directions principales sont N. 34° E. (mont Seny) et O. 7° N. (Pyrénées).

M. Magnan signale une discordance de stratification très-marquée entre la craie albienne et la craie cénomanienne des Pyrénées; cette discordance est caractérisée par la puissante formation détritique dite Conglomérat de Camarade, constituée par des blocs appartenant tous à des terrains antérieurs au cénomanien, tandis que le conglomérat, qui passe aux grès à Orbitolina concava des Corbières, est recouvert en concordance par les couches à Caprina adversa et les schistes à fucoïdes des Pyrénées.

Cependant M. Leymerie réunit le conglomérat de Camarade au terrain crétacé inférieur.

Filons de sable et d'argile des plateaux normands.

MM. Potier et Douvillé (1) ont signalé de nombreuses dislocations, alignées le plus souvent N. 40° O., qui affectent surtout les plateaux compris entre la Seine et l'Eure. Tantôt ce sont de simples fentes sans dénivellation, tantôt l'une des parois de ces dislocations est formée par la craie, tandis que l'autre est constituée par les terrains tertiaires plus ou moins inclinés et fracturés. Dans tous les cas, ces fentes sont remplies par des sables grossiers, micacés, bariolés, kaoliniques, avec des argiles de toutes nuances irrégulièrement distribuées dans la masse des sables, constituant ce qu'on appelait autrefois le terrain de sable granitique et d'argile à silex.

Ces dislocations ont dû se produire après le calcaire de la Beauce ou au moment de son émersion ; elles se rattachent intimement au phénomène qui a produit le bief à silex de la Normandie et de la Picardie.

Influence exercée par les failles sur la continuité des couches.

M. Robert L. Jack (2) a recherché l'origine des *défauts de masse* qu'on observe souvent dans les couches de minerai de fer

(1) *Comptes rendus*, 6 mai 1872.
(2) *Geol. Mag.*, VIII, 328.

intercalées au milieu du terrain houiller : ces défauts consistent dans une interruption brusque et momentanée, sans amincissement préalable, de la couche de minerai, alors que les schistes encaissants ne paraissent avoir subi aucun dérangement.

Après avoir établi que ces défauts ne se produisent que dans les contrées où il y a des failles, l'auteur fait remarquer qu'une faille est généralement limitée entre deux points pour lesquels le rejet est nul, et que, par conséquent, entre ces deux points, une couche déterminée, demeurant horizontale d'un côté de la faille, doit nécessairement prendre, sur le côté abaissé, une courbure d'autant plus grande que le maximum d'amplitude du rejet est plus considérable. Or il y a des exemples de failles ayant moins de 2 kilomètres de longueur, avec un rejet maximum de 200 mètres; la courbure qui en résulte est telle, qu'elle nécessite, entre les deux extrémités, un allongement de la partie courbe égal à plus de 60 mètres.

Dans les roches d'une faible dureté, comme les schistes, cet allongement se produit sans qu'il en résulte de vides appréciables, par suite de la naissance d'une infinité de petites fractures. Mais lorsqu'une roche dure est intercalée dans les schistes, ses fractures, beaucoup plus rares d'ailleurs, ne correspondent pas à celles de la roche encaissante, et la couche dure n'atteint un allongement égal à celui des schistes qu'à la condition de se rompre en un ou plusieurs points : de là résulteraient les défauts observés.

TREMBLEMENTS DE TERRE.

M. A. Perrey (1) continue, depuis plus d'un quart de siècle, ses consciencieuses études sur les tremblements de terre, et il vient de publier le résumé des observations de 1869. De nombreux correspondants lui ont apporté leur concours, notamment : MM. Moritz et Kiefer, pour Tiflis et le Caucase; M. Tschudi, pour la côte occidentale de l'Amérique du Sud; MM. Buijs-Ballot et Bergsma, pour les Indes Néerlandaises; M. le docteur Savatier, pour le Japon; M. de Hochstetter, pour l'Australie.

L'importance géologique des tremblements de terre est rendue bien sensible par des recherches comme celles entreprises par M. A. Perrey. On est surpris, en effet, de leur grand nombre; du reste, ce nombre s'augmente encore lorsqu'on constate leur

(1) *Académie royale de Belgique*, XXII.

existence avec des seismomètres et des appareils de précision. C'est en particulier ce qu'a reconnu M. Ant. d'Abbadie en observant dans le mercure les images de fils fixes.

GÉOGÉNIE.

Température du soleil.

Certains physiciens ont admis que la température du soleil est excessivement élevée; mais en partant des résultats obtenus dans la mesure de l'intensité de sa radiation calorifique, et en substituant à la loi de Newton la loi plus complète de Dulong et Petit, M. Vicaire (1) a trouvé que la température à la surface du soleil serait seulement de 1.400 degrés, c'est-à-dire comparable à celle de nos flammes, et qu'elle doit, en tous cas, rester bien inférieure à 3.000 degrés.

MM. H. Sainte-Claire-Deville, E. Becquerel, Fizeau, W. Thomson, Faye sont arrivés de leur côté à des conclusions analogues.

Relation entre les phénomènes éruptifs et les phénomènes sédimentaires.

M. de Chancourtois (2) a insisté sur la corrélation directe des phénomènes éruptifs et des phénomènes sédimentaires : après avoir rappelé la liaison intime qui lie les porphyres aux grès rouges par des conglomérats ou des argilolithes, l'auteur établit que les matières sédimentaires non détritiques, ou de précipitation chimique, telles que les silex, les calcaires, les minerais stratifiés, sont les épanouissements directs des matières d'émanation fournies par les magmas sous-jacents, en sorte que si, à une époque déterminée, on conçoit un filon formé par la juxtaposition ordonnée de tous les remplissages partiels observés dans une même région, la série ainsi obtenue correspondra, terme pour terme, à celle des dépôts sédimentaires non détritiques de la même époque. C'est ainsi que l'argile à meulières est l'épanouissement, à la fois sédimentaire et chimique, des matières argileuses et sableuses conte-

(1) *Comptes rendus*, février 1872.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXVIII, 305.

nues dans les filons tout récemment signalés par MM. Douvillé et Potier à la surface des plateaux de la Normandie. De même, les trois éléments du terrain crétacé, la glauconie, la craie et le silex, correspondent parfaitement aux remplissages de terre verte, de calcite et d'agate de certains trapps amygdaloïdes. De même aussi, l'état tufacé, si caractéristique des roches éruptives récentes, se reflète parfaitement dans les nombreux travertins de l'époque tertiaire. M. de Chancourtois est même porté à penser que l'arragonite doit entrer dans la composition de ces travertins, tout comme elle participe au remplissage des vacuoles des basaltes.

Agents qui ont formé les terrains stratifiés.

Dans son ouvrage sur la *Lithologie du fond des mers*, M. Delesse a fait successivement l'étude des divers agents qui ont concouru à la formation des terrains stratifiés sur notre globe.

Tantôt ces agents sont extérieurs, comme l'*atmosphère*, les *rivières*, la *mer* ; tantôt ils sont intérieurs, comme les *eaux souterraines*, les *éruptions*, les *dislocations*.

M. Delesse (1) a appelé spécialement l'attention sur la grande importance du rôle joué par les agents intérieurs, et il a pris comme exemple les terrains stratifiés qui constituent le sol de la France.

1° Si l'on considère d'abord les *eaux souterraines*, il faut observer qu'elles se chargent de substances minérales qui leur sont fournies par les roches à travers lesquels elles s'écoulent ; elles donnent lieu à des infiltrations sous-marines qui se produisent sans cesse, non-seulement vers le niveau supérieur de l'Océan, mais encore le long des parois qui le contiennent et jusque dans ses plus grandes profondeurs. D'un autre côté, des substances minérales sont également apportées par des eaux chaudes venues de l'intérieur du globe qui se font jour sur une multitude de points.

2° Les *éruptions* ont aussi contribué d'une manière très-efficace à la formation des dépôts. Ces éruptions ont eu lieu, soit sur le sol émergé, soit sur le sol immergé et dans le fond des lacs ou des mers ; elles ont rejeté tantôt des matières à l'état de fusion ignée, tantôt différentes matières minérales qui étaient entraînées par des eaux boueuses ou bien qui se trouvaient en dissolution.

---

(1) *Lithologie du fond des mers*, I, ch. VIII, p. 127 ; ch. IX, p. 140, et ch. XVI, p. 383. — *Revue de géologie*, II, 141.

3° Enfin il convient encore de tenir compte d'autres agents intérieurs qui interviennent d'une manière intermittente, ce sont les *dislocations*.

Les dislocations ont été produites par des causes très-complexes, en particulier par les tremblements de terre et par les éruptions; elles sont bien manifestes par les failles, par les soulèvements, par les affaissements, ainsi que par les plissements, et par les refoulements de couches qui s'observent souvent sur une échelle gigantesque, surtout dans les pays de montagnes.

Quoi qu'il en soit, elles ont mis en mouvement d'énormes masses d'eau qui ont donné lieu à des phénomènes d'érosion et de transport d'une puissance exceptionnelle.

En outre, elles ont provoqué une activité beaucoup plus grande dans les eaux thermo-minérales et dans les éruptions, spécialement dans les éruptions de matières liquides, boueuses ou salines; car les refoulements et les pressions intérieures tendaient naturellement à faire refluer ces matières vers la surface, par suite de leur état liquide et de leur faible densité.

Pour apprécier toute l'importance des dislocations de l'écorce terrestre et l'influence qu'elles ont exercée sur la formation des terrains, il suffit d'ailleurs de songer aux effets qui ont dû se produire, lorsque d'énormes masses d'eau, superficielles et souterraines, ont été subitement déplacées, exprimées par compression et mises en mouvement, par suite de la formation de chaînes de montagnes, comme les Pyrénées et les Alpes, qui ont pris leur relief en surgissant du fond des mers.

BULLETIN.

Loi, du 7 juin 1871, concernant les indemnités dues à raison des morts ou des blessures occasionnées par l'exploitation des chemins de fer, des mines, etc., dans l'empire d'Allemagne (*).

Art. 1er. — Lorsque, dans une exploitation de chemin de fer, un homme est tué ou blessé, l'entrepreneur de l'exploitation est tenu de réparer le préjudice qui en résulte, s'il ne prouve pas que l'accident a été causé par la force majeure ou par la propre faute de la personne tuée ou blessée (**).

Art. 2. — Celui qui exploite une mine, une carrière ou une fabrique, doit, — lorsque son mandataire, son représentant, une personne chargée par lui de diriger ou de surveiller l'exploitation, ou un de ses ouvriers, cause, par sa faute, dans les fonctions auxquelles il est employé, la mort ou la blessure d'un individu, — payer la réparation du préjudice causé.

Art. 3. — Les dommages-intérêts, dans les hypothèses des articles 1 et 2, comprennent :

1° En cas de mort, les frais occasionnés par les soins donnés au blessé et les frais d'enterrement; en outre, la réparation du préjudice pécuniaire souffert par le mort, durant sa maladie, par suite de son incapacité de travail, totale ou partielle. Lorsque la personne morte était, au moment de sa mort, tenue d'une obligation alimentaire légale, le créancier des aliments peut réclamer une indemnité, si la mort du débiteur lui fait perdre sa pension ;

(*) Extrait de l'*Annuaire de législation étrangère*, publié en 1872 par la Société de législation comparée.

(**) Cette disposition est importante, en ce qu'en cas d'accident de chemin fer, elle présume la faute. L'article 2, pour le cas d'accident arrivé dans les mines, fabriques, etc., oblige, au contraire, celui qui réclame des dommages-intérêts à prouver la faute.

2° En cas de blessure, les dépenses nécessitées par le traitement et la réparation du préjudice pécuniaire causé au blessé, par son incapacité de travail, totale ou partielle, temporaire ou permanente.

Art. 4. — Quand la personne morte ou blessée était assurée contre les accidents à une compagnie d'assurance, à une caisse pour les pauvres mineurs, à un établissement hospitalier ou de secours, ou à toute autre caisse de ce genre, par l'entrepreneur de l'exploitation contribuant au payement des primes ou autres cotisations, — il y a lieu d'imputer le montant de la contribution payée par cet entrepreneur, pour l'ayant droit à l'indemnité, sur les dommages-intérêts, quand cette contribution était égale au moins au tiers du total des sommes à payer.

Art. 5. — Les entrepreneurs désignés aux articles 1 et 2 n'ont pas le droit d'exclure par avance ni de limiter à leur avantage (par un règlement ou une convention spéciale) l'application des dispositions contenues aux articles 1 à 3.

Les clauses contraires à cette prohibition n'ont aucun objet légal.

Art. 6. — Le tribunal aura à former sa conviction en toute liberté sur la vérité des allégations de fait, en prenant en considération l'ensemble des débats.

Il n'est nullement dérogé aux lois particulières des divers pays sur la preuve par le serment, comme sur la force probante des actes authentiques et de l'aveu judiciaire.

Il appartient au tribunal d'apprécier s'il y a lieu de déférer le serment à une partie, sur les faits allégués par elle, et de déterminer si et dans quelle mesure il y a lieu d'ordonner une preuve proposée sur le montant du préjudice ou d'entendre des experts.

Art. 7.—Le tribunal détermine librement, en examinant toutes les circonstances, le montant du préjudice ; il décide également s'il y a lieu d'établir des sûretés spéciales, quelle doit en être la nature et jusqu'à concurrence de quelle somme elles doivent être fournies. Lorsque les parties ne s'entendent pas sur la fixation d'un capital exigible à titre d'indemnité, pour l'entretien de la partie lésée et pour compenser son incapacité de travail, il y a lieu, en règle générale, d'allouer une rente.

Le débi-rentier peut, à toute époque, réclamer la suppression ou la diminution de la rente, lorsque les circonstances qui l'avaient fait établir ou en avaient fait fixer le montant ont été essentiellement changées. De même, la partie lésée, si elle a fait valoir son droit à l'indemnité dans le délai de la prescription (*voir l'article* 8),

peut, à toute époque, réclamer une augmentation de la rente supprimée, lorsque les circonstances qui ont déterminé la concession, la diminution ou la suppression de la rente, ont subi des modifications essentielles.

L'ayant droit à l'indemnité peut aussi réclamer, à titre de supplément, une sûreté ou l'augmentation de la garantie déjà accordée, quand la situation pécuniaire de l'obligé est devenue pire.

Art. 8. — Les demandes en indemnité (*articles* 1 *à* 3) se prescrivent par deux ans, à partir du jour de l'accident. La prescription commence du jour de la mort contre ceux envers qui la personne morte était tenue d'une obligation alimentaire (*article* 5). La prescription court aussi à compter des mêmes moments, contre les mineurs et les personnes y assimilées, sans qu'ils puissent être restitués contre elle.

Art. 9. — La présente loi ne déroge pas aux lois particulières en vertu desquelles les entrepreneurs d'établissements désignés aux articles 1 et 2 ou toute autre personne sont tenus, à raison d'une faute personnelle, de réparer le préjudice causé par les morts ou les blessures occasionnées par leur exploitation.

Les prescriptions des articles 3, 4, 6 à 8, s'appliquent aussi dans ces hypothèses, sans préjudicier pourtant aux dispositions des lois particulières qui permettent à la personne lésée d'obtenir une indemnité plus forte.

Art. 10. — Les dispositions de la loi concernant la constitution d'une cour suprême de justice pour les affaires commerciales, du 12 juin 1869, comme les dispositions complémentaires de cette loi, sont étendues aux procès civils, dans lesquels une partie invoque la présente loi ou les lois particulières aux différents pays visées à l'article 9, dans une demande principale ou reconventionnelle.

Statistique minérale de l'Allemagne.

L'Allemagne, comme on le sait, est riche en mines de toute espèce, depuis les mines de charbon jusqu'aux mines d'argent, et l'extraction de la houille, des minerais métalliques ainsi que l'élaboration de ces derniers, peuvent être rangées au premier rang des industries de cette vaste contrée. L'importance de cette branche du travail national, les développements qu'elle a pris depuis plusieurs années et le rôle qu'elle peut jouer éventuellement vis-à-vis des pays producteurs étrangers, méritent assurément la plus grande attention.

D'après une statistique récente et de source officielle (*Deutscher Reichs Anzeiger und Königlich Preussischer Staats Anzeiger*), le relevé décennal suivant de la production des mines du Zollverein peut donner une idée de l'extension qui lui a été imprimée de 1861 à 1870. Voici la valeur du produit pour chacune de ces années comparée à celle des exercices précédents :

	francs.			
1861	158.636.000			
1862	166 008 000	ou 4,64	p. 100 de plus qu'en	1861
1863	174.235.000	4,96	id.	1862
1864	202.801.000	15,86	id.	1863
1865	235.955.000	16,89	id.	1864
1866	242.798.000	3,75	id.	1865
1867	263.927.000	7,81	id.	1866
1868	278.194.000	5,45	id.	1867
1869	297.109.000	6,80	id.	1868
1870	306.430.000	3 14	id.	1869

Bien que l'accroissement ait surtout été sensible pendant les exercices 1864 et 1865, les autres années n'en offrent pas moins une augmentation continue ; il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que les événements politiques de 1866 à 1870 ont nécessairement exercé une certaine influence sur l'industrie pendant ces deux dernières années, et que ce sont précisément celles où le progrès a été le plus faible.

En somme, si l'on compare le chiffre de la production en 1861 avec celui de 1870, la progression décennale atteint des proportions remarquables puisqu'elle s'élève à 93,1 p. 100.

C'est principalement à l'impulsion donnée à l'industrie houillère et à l'extraction des minerais de fer qu'il faut attribuer ce résultat. En effet, le produit des charbonnages allemands n'était estimé en 1861 qu'à 117.608.000 francs (74,14 p. 100 de la valeur totale de

l'exploitation des mines de cette année), tandis que pour 1870, il est évalué à 231.988.000 francs (75,91 p. 100 de l'ensemble de la production minière). La différence entre ces deux exercices est donc de 97,2 p. 100 en faveur du dernier.

Si les minerais de fer sont loin d'avoir, comme valeur, une importance aussi considérable, leur part aux progrès réalisés pendant la période décennale est encore plus sensible. Ils ne figurent que pour 11.275.000 francs ou 7,04 p. 100 dans le chiffre de 1861, et en 1870 ils sont portés à 30.142.000 francs ou 9,83 p. 100. L'extraction s'est donc accrue en dix ans de 170 p. 100.

Les autres minerais ont suivi un mouvement progressif analogue, mais dans des proportions toutefois moins accentuées. On constate entre les deux années extrêmes, de 1861 à 1870, les différences ci-après :

	1831.	1870.	AUGMENTATION pour 1870.
	francs.	francs.	
Minerais de plomb.......	14.225.000	20 667.0'0	45,3 p. 100
Id. de zinc........	6.519.000	8.683.000	33,2 p. 100
Id. de cuivre.......	3.466.000	6.075.000	75,3 p. 100
Id. d'or et d'argent...	4.313.000	4.962.000	15,1 p. 100
Id. divers.........	2.331.000	3.913.000	67,9 p. 100

Les chiffres qui précèdent se rapportent seulement aux matières brutes extraites du sol; on va voir maintenant ce que la main-d'œuvre ajoute à leur valeur première, et l'on pourra juger mieux encore de l'importance acquise par l'industrie minéralurgique en Allemagne.

La production des mines, hauts fourneaux et fonderies s'est élevée successivement aux chiffres qui suivent :

1861	323.971.000 fr.
1862	363.471.000 fr. ou 12,19 p. 100 de plus qu'en 1861
1863	395.707.000 fr. ou 8,87 Id. 1862
1864	444.309.000 fr. ou 12,28 Id. 1863
1865	483.446.000 fr. ou 8,81 Id. 1864
1866	478.486.000 fr. ou 1,03 p. 100 de moins qu'en 1865
1867	497.673.000 fr. ou 4,01 p. 100 de plus qu'en 1866
1868	550.283 000 fr. ou 10,57 Id. 1867
1869	630.641.000 fr. ou 14,60 Id. 1868
1870	613.989.003 fr. ou 2,64 p. 100 de moins qu'en 1869

Ici encore, en faisant la part des événements de 1866 et de 1870, on observe une progression à peu près équivalente à celle accusée

un peu plus haut pour les matières brutes, c'est-à-dire une différence, à l'avantage de 1870 sur 1861, de 89,5 p. 100.

Les valeurs qui viennent d'être indiquées se répartissent comme suit, selon la nature des métaux travaillés. La comparaison est établie sur les années 1861 et 1870 :

	1861.	1870.	AUGMENTATION pour 1870.
	francs.	francs.	
Fontes, fers et aciers et ouvrages de fer et d'acier	243.701 000	494.585.000	10,3 p. 100
Argent	13.734.000	20.812.000	51,5 p. 100
Plomb	14.681.000	26.067.000	77,5 p. 100
Cuivre et laiton	16.022.000	26.833.000	61,4 p. 100
Zinc brut et laminé	29.842.000	38.296 000	28,3 p. 100
Autres produits	5.391.000	7.396.000	37,2 p. 100

Les différents chiffres qu'on vient de citer, prouvent surabondamment quel développement a pris en Allemagne, depuis dix ans, l'industrie minéralurgique. Afin de mieux démontrer encore quelle est sa puissance actuelle, nous allons reproduire avec plus de détail les données qui se rapportent à l'année 1870.

Le tableau suivant fait connaître la production des mines pendant l'exercice dont il s'agit, comparé à celui de 1869 :

	1870.		DIFFÉRENCE POUR 1870.			
			En plus.		En moins.	
	Quantités. — Quintaux métriques.	Valeurs. — Francs.	Quantités. — Quintaux métriques.	Valeurs. — Francs.	Quantités. — Quintaux métriques.	Valeurs. — Francs.
Charbons de terre. Houille	263.978.000	204.422.000	»	9.490.000	3.766.000	»
Charbons de terre. Brun	70.052.000	27.566.000	356.000	1.270.000	»	»
Minerai de fer	38 392.000	30.142.000	»	1.055.000	2.445.000	»
Id. de zinc	3.658.000	8.683.000	»	»	382.000	2.042.000
Id. de plomb	11.056 000	20 667.000	55.000	2.000	»	»
Id. de cuivre	2.074.000	6.075.000	»	»	100.000	330.000
Id. d'or et d'argent	256.000	4.962.000	»	»	12.000	19.000
Id. divers	»	3.913.000	»	»	»	285.000
		306.430.000		11.817.000		2.676.000
				2.676.000		
			Augmentation totale	9.141.000		

La principale observation que suggère l'examen du relevé qui précède, c'est, d'un côté, le léger ralentissement de l'extraction de

la houille et du minerai de fer et, de l'autre, l'augmentation de valeur de ces matières. L'une est, d'ailleurs, la conséquence de l'autre, le prix augmentant en raison de la rareté de la marchandise.

Le déficit accusé par la production de la houille en 1870, a eu pour conséquence d'activer l'exploitation du lignite. Ce combustible, dont les bassins les plus considérables sont situés dans les provinces de Saxe et de Brandebourg, se consomme presque exclusivement dans le pays.

— Les minerais métalliques extraits en 1870 ont été convertis en métaux dont la quantité et les valeurs sont consignés dans le tableau qui suit :

	1870.		DIFFÉRENCE POUR 1870 COMPARÉE A 1869.			
			En plus.		En moins.	
	Quantités. — Quintaux métriques.	Valeurs. — Francs.	Quantités. — Quintaux métriques.	Valeurs. — Francs.	Quantités. — Quintaux métriques.	Valeurs. — Francs.
Fontes de fer et d'acier. . . .	13.455.000	122.400.000	»	4.772.000	115.000	»
Fer { en barres et plaques. .	7.408.000	174.886.000	»	»	12.000	5.023.000
Fer { tôles.	868.000	27.073.000	»	»	119.000	2.996.000
Fer { fils.	443.000	13.630.000	»	463.000	11.000	»
Acier.	1.700.000	85.304.000	86.000	341.000	»	»
Ouvrages de fer et d'acier. .	2.810.000	71.292.000	»	»	149.000	3.109.000
Zinc { en barres et plaques.	640.000	27.775.000	»	»	59.000	5.003.000
Zinc { laminé.	203.000	10.521.000	»	»	38.000	3.309.000
Cuivre { pur.	48.000	8.748.000	2.000	47.000	»	»
Cuivre { laiton.	44.000	9.330.000	»	»	3.000	1.058.000
Cuivre { ouvré.	39.000	8.755.000	»	»	3.000	1.217.000
Plomb	546.000	26.067.000	15.000	»	»	326.000
Argent.	900	20.812.000	7	258.000	»	»
Divers	»	7.396.000	»	13.000	»	»
		613.989.000		5.889.000		22.541.000
						5.889.000
						16,652.000

Malgré les circonstances particulières qui ont dû agir sur le travail des mines en 1870, l'ensemble de la production n'accuse en définitive, comparativement à 1869, qu'une diminution peu importante de 2,64 p. 100. Il est évident qu'en portant le théâtre de la guerre sur le sol étranger, l'Allemagne a réussi à préserver son industrie des violentes commotions qu'elle aurait éprouvées dans d'autres conditions. Elle a donc eu cette bonne fortune de pouvoir conserver au travail national, pendant ces épreuves si douloureuses pour la France, une activité soutenue et sans perturbations sensibles. On en trouve une nouvelle preuve dans ce fait que

le nombre des ouvriers employés tant à l'extraction qu'à l'élaboration des matières minérales, évalué à 336.877, n'est inférieur que de 15.989 à celui de l'année précédente.

— Après avoir démontré, à l'aide des données qui précèdent, l'importance et le développement de l'industrie houillère et minéralurgique de l'Allemagne, il reste à examiner quels pourraient être éventuellement, vis-à-vis des industries similaires des autres pays, les effets d'une pareille puissance productive, continuant à s'accroître comme elle l'a fait depuis dix ans.

Au premier abord, sans doute, on serait porté à craindre qu'une redoutable concurrence ne vînt s'établir sur le propre marché des contrées voisines de l'Empire allemand, surtout si l'on considère que pour les houilles, les aciers, le plomb et le zinc, les exportations de ce pays dépassent déjà de beaucoup les importations.

De tous ces articles, cependant, il n'en est véritablement qu'un seul, le fer, qui mérite d'être pris en sérieuse considération, particulièrement au point de vue des intérêts français. Si l'on tient compte, en outre, de l'indispensable nécessité pour l'industrie de se procurer la houille au prix le plus modéré possible, on ne saurait regretter que les charbons prussiens vinssent se placer sur notre marché au même titre que les charbons belges et anglais, d'autant que notre propre production n'est pas en état de suffire à nos besoins. Et quant aux autres métaux, cuivre, plomb et zinc, il est plus avantageux pour nous de les trouver à notre frontière que d'aller les chercher au loin.

L'unique danger qui puisse nous menacer réside donc essentiellement dans l'essor qu'a pris en Allemagne l'industrie sidérurgique, danger qui s'accroît par la situation géographique des principaux siéges de cette industrie. En laissant de côté les grands établissements de Silésie qui ne sauraient, en raison de leur éloignement, porter aucun préjudice aux nôtres, le centre principal des usines à fer se trouve confiné effectivement dans les bassins du Rhin et de la Moselle. Or, en raison de l'insuffisance de moyens économiques de transport, les produits de cette région industrielle n'ayant la faculté de se répandre que dans un rayon très-limité, le métallurgiste allemand, à un moment donné, pourrait se trouver dans l'obligation d'écouler à tout prix l'excédant de sa production. Le danger, en ce cas, ne serait que le résultat d'une crise passagère plus préjudiciable encore à l'Allemagne qu'à l'étranger, et c'est le seul, à tout prendre, qui soit de nature à nous inquiéter. En temps ordinaire, notre droit de douane suffit pour nous protéger contre l'invasion des fers prussiens.

L'éventualité que l'on vient d'entrevoir n'a, d'ailleurs, aucune chance de se réaliser à bref délai ; car, outre que la consommation intérieure augmente de jour en jour, stimulée par une activité industrielle qui a pris dans ces derniers temps des proportions inusitées, il est à croire qu'avant d'imposer ses produits aux autres, l'Allemagne fera d'abord tous ses efforts pour s'exonérer du tribut qu'elle paye encore aux nations étrangères, à l'Angleterre principalement. En 1870, ce tribut s'élevait encore à 229.000 tonnes de fonte, tandis que l'exportation n'atteignait que 109.820 tonnes.

Le véritable moyen d'arriver à ce résultat et de conjurer une crise possible, consiste dans la création de nouvelles voies de communication.

Il est prouvé que dans les conditions actuelles de l'industrie européenne, le prix des produits fabriqués dépend entièrement des frais de transport dont ils se trouvent grevés pour arriver à leur destination définitive, parce que les dépenses de main-d'œuvre n'ont plus aujourd'hui qu'une influence très-limitée sur la valeur de la fabrication. Si l'Allemagne a pu bénéficier longtemps de ce dernier avantage, les grèves qui se succèdent dans ce pays auront fatalement pour résultat de la dépouiller promptement de ce privilége.

Je citerai comme une preuve à l'appui de cette nécessité pour l'Allemagne d'étendre le réseau de ses chemins de fer, surtout vers les provinces orientales et septentrionales de l'Empire, que ces dernières continuent à s'approvisionner de fontes et de fers anglais, et que la situation de ces contrées est tellement peu favorisée, sous ce rapport, que les industriels de Danzig et d'Elbing ont adressé au Reichstag une pétition réclamant la suppression des droits, si modérés cependant, qui frappent les fontes et les fers à l'entrée dans le Zollverein. Cette demande n'a pas été accueillie, et, d'après ce que rapportent les feuilles locales, elle n'aurait de chance d'être prise en considération que lors d'une révision de tarif.

On est donc autorisé à conclure que notre industrie sidérurgique n'a pas à redouter de concurrence immédiate du côté de l'Allemagne, et que ce danger n'est même pas très-sérieux pour l'Angleterre, à laquelle l'industriel allemand devra toujours s'adresser pour certaines espèces spéciales de fonte et de fer. C'est, en définitive, vers les régions de l'est que le producteur du Zollverein doit reporter toute son activité ; il a non-seulement à satisfaire de ce côté les besoins de son propre pays, mais il peut prévoir, en outre, que le jour où le marché russe deviendra plus

abordable, il aura toutes les facilités possibles d'y établir sa prépondérance.

—En terminant donnons quelques chiffres relatifs à l'exploitation des salines qui occupent également une place importante dans la production minière de l'Allemagne.

La quantité de sel extraite en 1870 s'est élevée à 7.094.000 quintaux métriques d'une valeur de 14.725.000 francs. Comparativement à 1869, c'est une augmentation de 703.000 quintaux métriques.

Cette industrie a employé 4.610 ouvriers, ou 185 de plus que pendant l'année précédente.

(*Extrait d'un rapport adressé à M. le Ministre des affaires étrangères par* M. VERNEUIL, *consul de France à Danzig.*)

Emploi du pétrole pour la fabrication du fer.

Une nouvelle tentative vient d'être faite aux États-Unis pour substituer comme combustible le pétrole au charbon dans la fabrication de la fonte du fer, et les renseignements donnés sur cette entreprise montrent l'importance que prendrait l'industrie du fer aux États-Unis, si elle était couronnée de succès.

Jusqu'ici les expériences n'ont été faites que sur une échelle un peu restreinte, mais les résultats ont été très-satisfaisants partout. A Saint-Louis, par exemple, on a trouvé que l'on réalisait une économie considérable en substituant, comme combustible, le pétrole au charbon, et que le fer fabriqué par ce procédé était d'une qualité supérieure.

La perte de chaleur paraît moindre dans les hauts fourneaux, lorsqu'on se sert de pétrole au lieu de charbon.

Aux cours présents, le combustible d'un fourneau à charbon de bois coûte 17 dollars par tonne de fonte, tandis que l'huile de pétrole, pour une égale quantité de fer produite, coûtera seulement 7 dollars. Par suite de l'absence du gaz sulfureux, le fer fabriqué par ce procédé appartient à l'une des meilleures qualités connues sur le marché.

Les dépenses pour construire les édifices destinés à l'exploitation par le pétrole paraissent moitié moindres que celles occa-

sionnées par l'emploi du charbon, et l'économie dans le travail et autres charges serait la même.

A ces avantages déjà sérieux viennent s'en ajouter de nouveaux : le pétrole, comme combustible, est aussi facile à manier que le gaz d'éclairage, et n'est pas plus dangereux. On peut diminuer ou augmenter à volonté, par le même procédé que pour le gaz, sa force ou sa chaleur. On n'a eu jusqu'ici aucun accident sérieux à déplorer, bien que les expériences aient été faites dans de mauvaises conditions.

Le haut fourneau à huile de pétrole de Titusville va être également construit pour les essais en question, et tout porte à croire que l'essai sera couronné de succès, à moins de graves erreurs dans les calculs des ingénieurs et des experts. La région du pétrole pourrait alors devenir le centre de l'importante industrie du fer, car par la richesse de ses mines elle est appelée à un avenir brillant.

(*Extrait d'une lettre adressée à M. le Ministre des affaires étrangères par* M. DE LA FOREST, *consul général de France à New-York.*)

ERRATA.

Le clapet représenté *fig.* 3, Pl. XIII, est de l'invention de M. Witwell, et a été breveté à son profit (page 326).

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DEUXIÈME.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DEUXIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

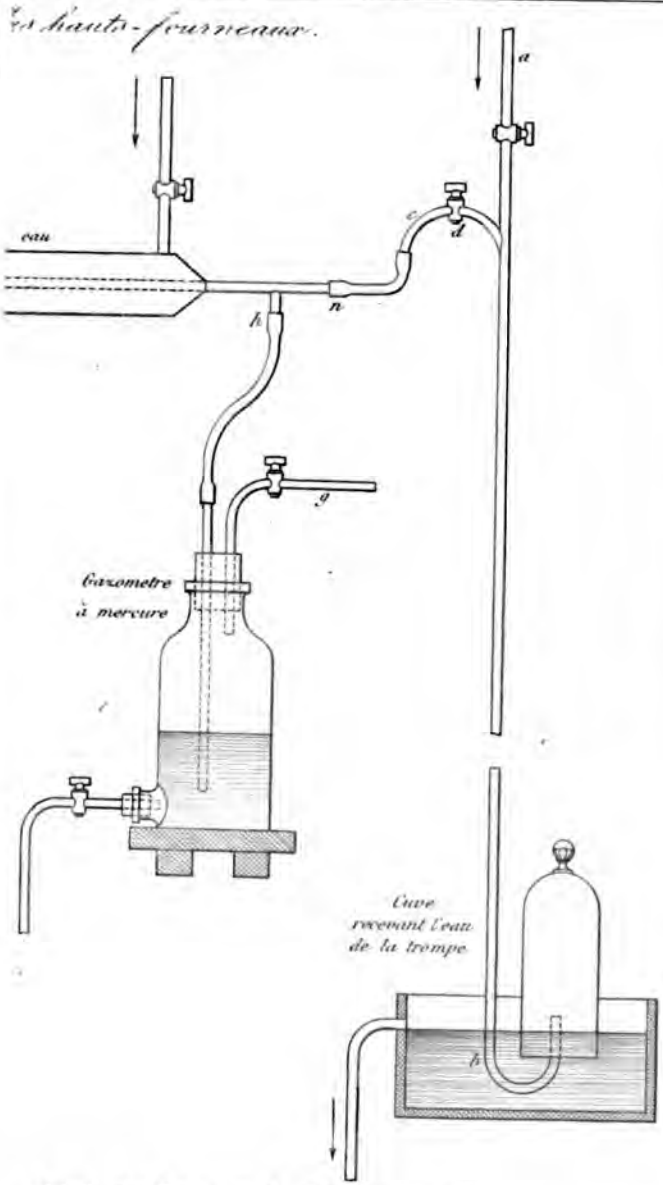
MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

MÉTALLURGIE.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

1884 — Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière et Cᵉ, rue Racine, 26.



Echelle des Fig. 1 à 12 de 0m 002 pour 1 mètre

10 20 30 40 mètres

Echelle de la Fig. 13 de 0m 10 pour 1 mètre

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 mèt.

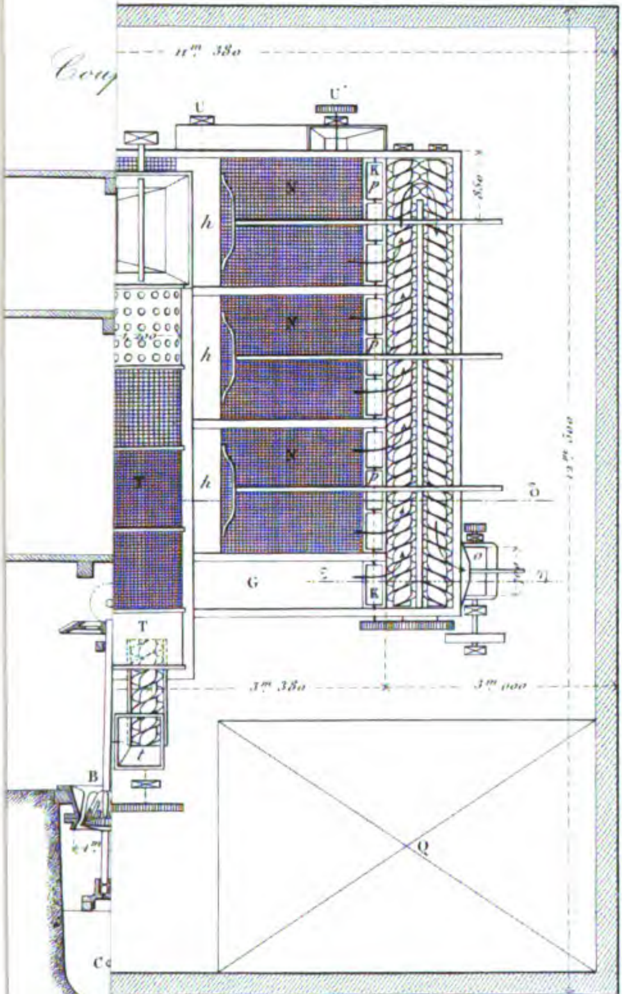
An

Lemaitre del. et sc.

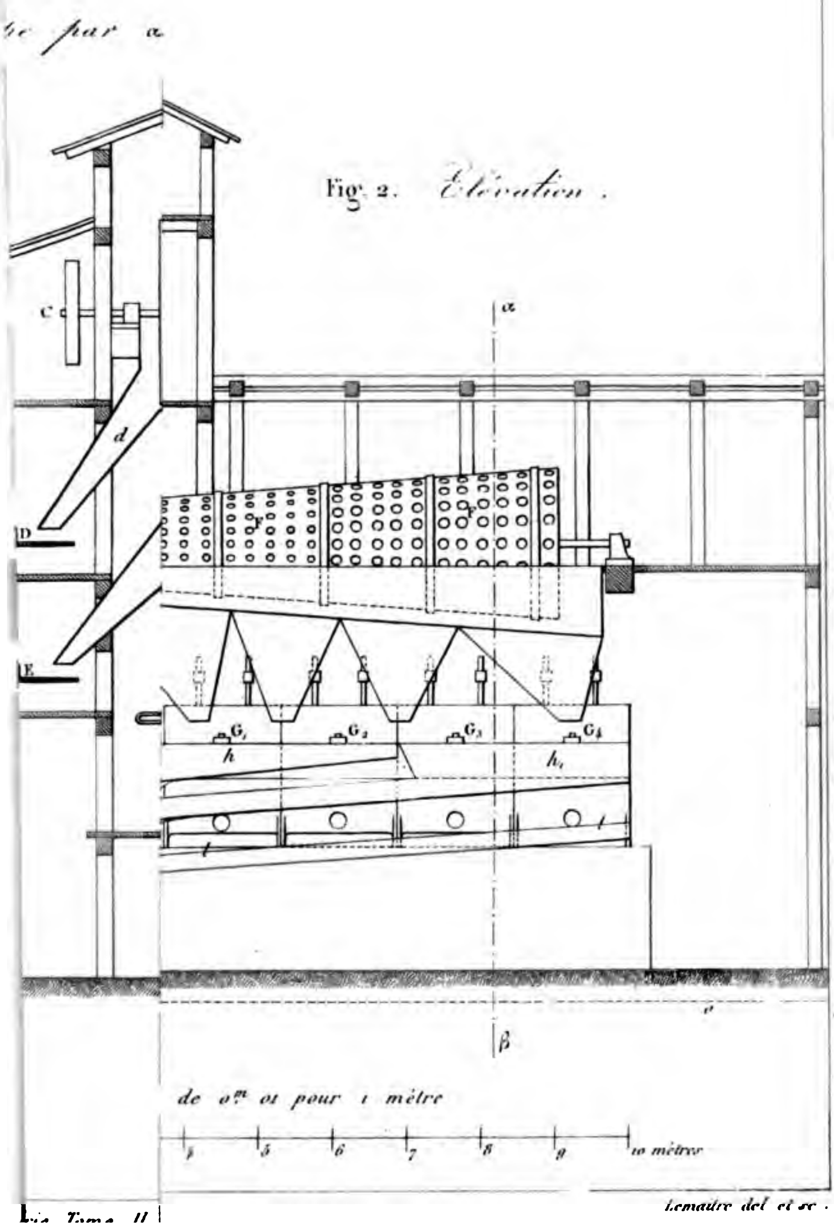
Fig. 2.

...lan général

Coup...



Lemaitre del. et sc.



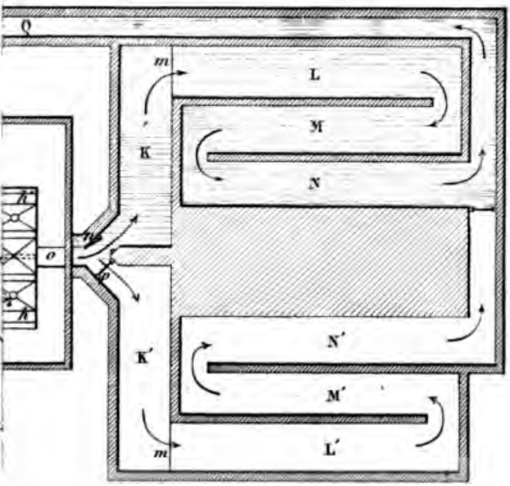
Lemaitre del. et sc.

Lavoir Sievers.

classeur
...ansversale



Fig. 8. *Plan d'ensemble*

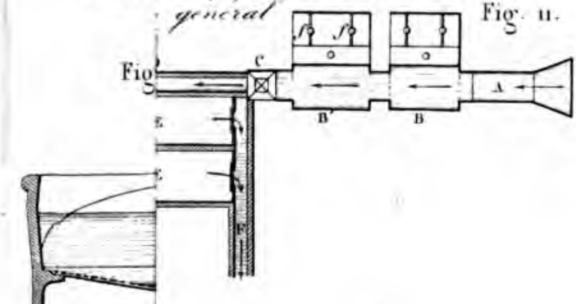


...tuils Dechen (Fig. 10 et 11.)

Lav...

...général

Fig. 11.



0m 004 pour 1 mètre

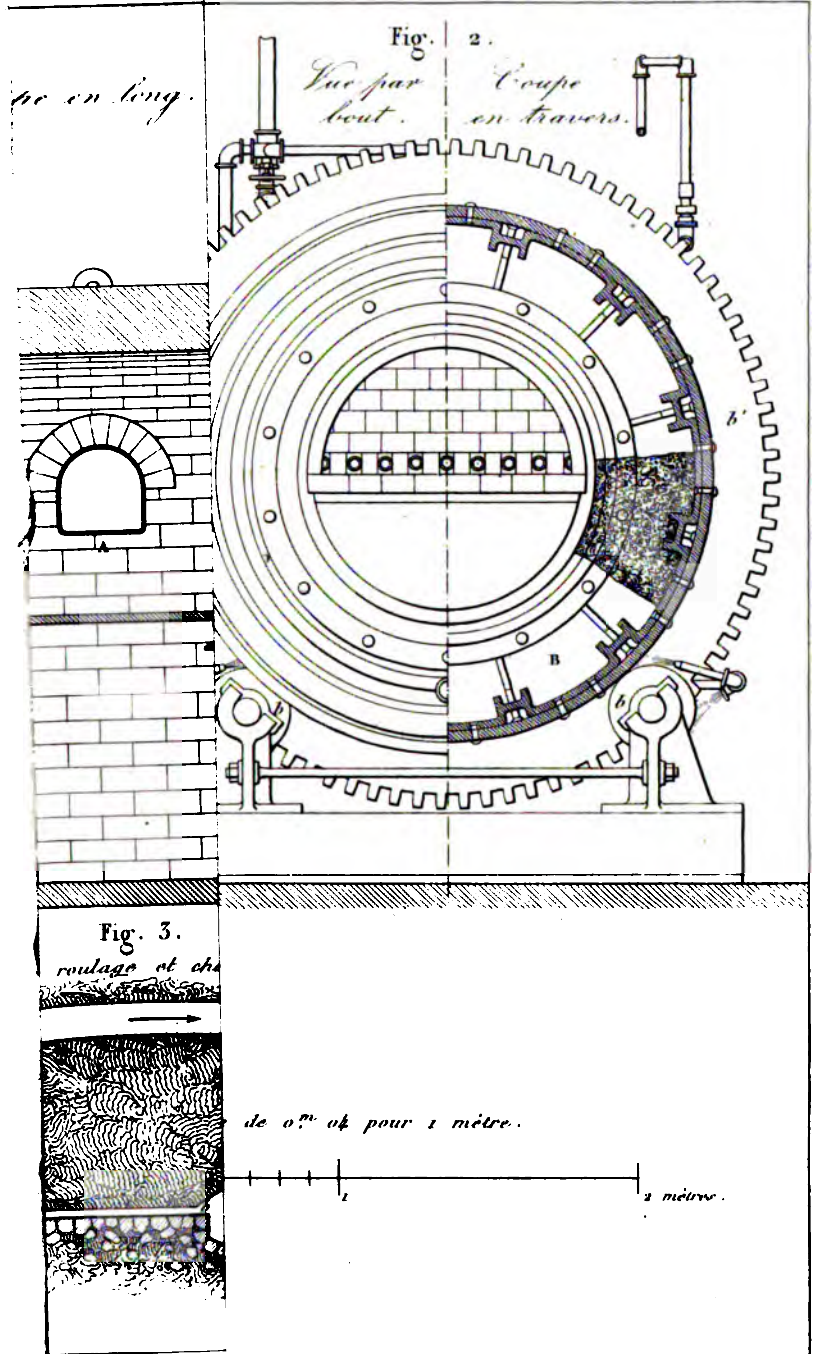
15 *20* *25 mètres*

0m 05 pour 1 mètre

2 mètres

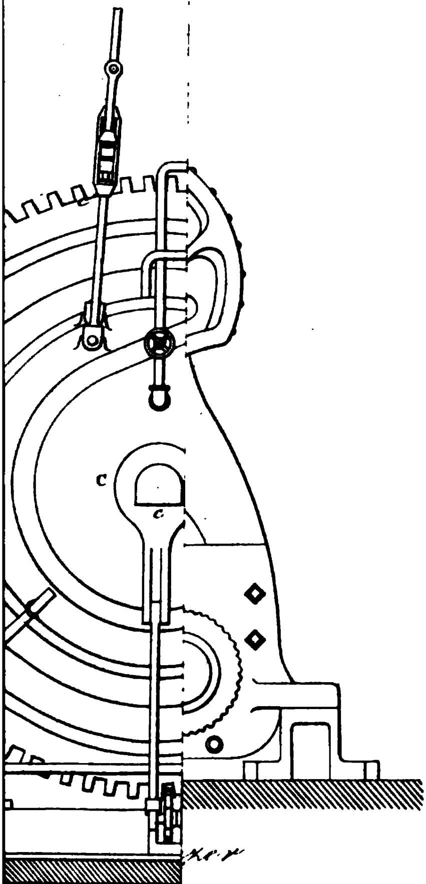
Lemaitre del. et sc.

Pl. V.



. Tome II. pages 2

Lemaître del. et sc.



...ker

...xtrémité.

Fig. 3.

Fourche à décharger les loupes.

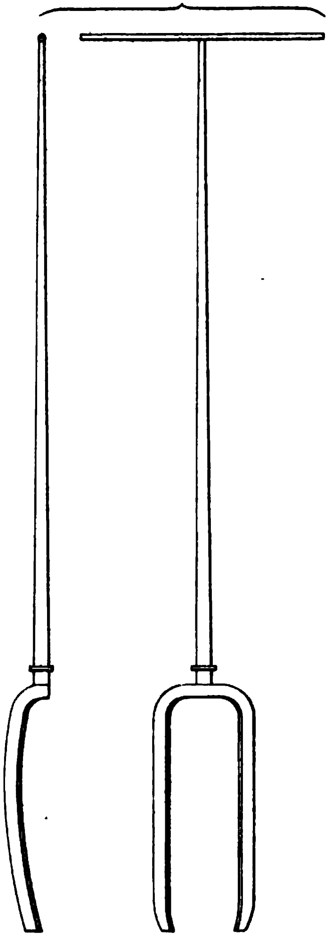
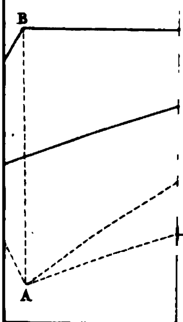


Fig. 4



Echelle de 0.m 04 pour 1 mètre.

1 — 2 mètres.

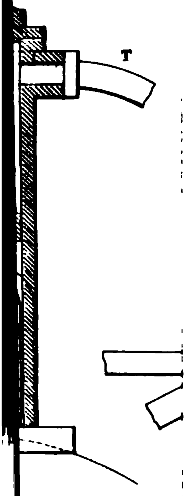
Lemaitre del. et sc.

Pl. VII.

...ulateur su...

Fig. 1.

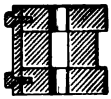
Coupe.



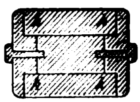
... de l'orifice ...
...tion.

...chelle de 0.m ...

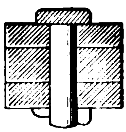
Coupe sur IK.



Coupe sur LM.



Coupe sur PQ.



Boulon plat

Fig. 6. (Echelle 1/20)

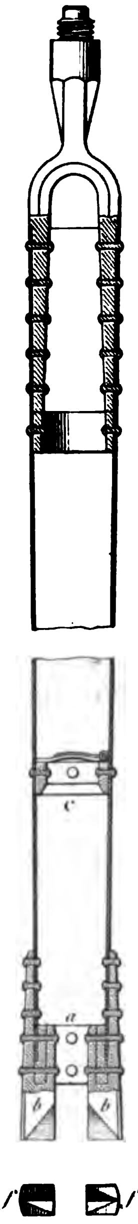
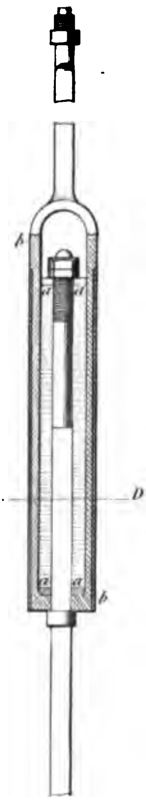
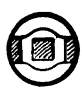


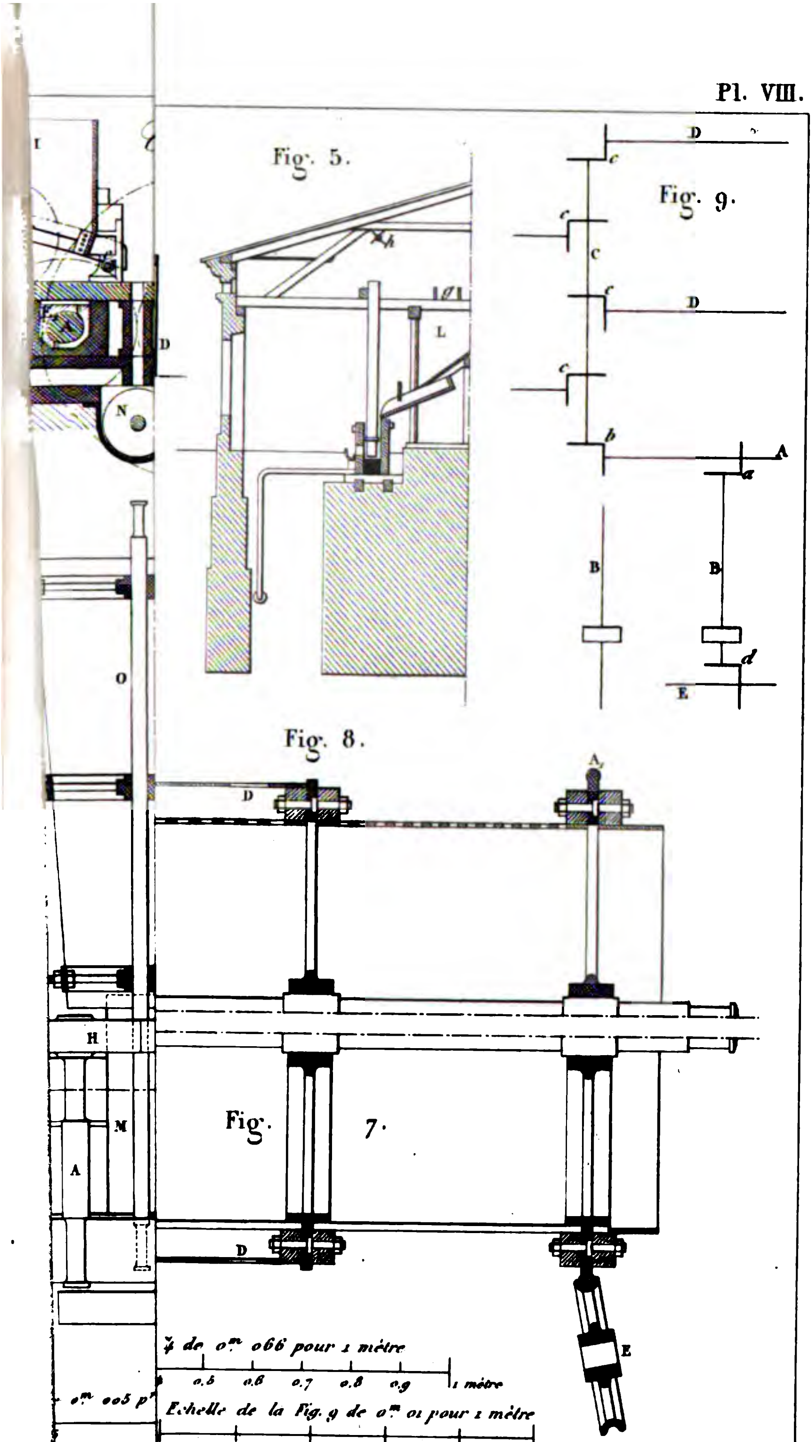
Fig. 7. (id.)



Coupe sur CD.



Lemaitre del. et sc.



¼ de 0.m 066 pour 1 mètre

0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 mètre

0.m 005 p.r

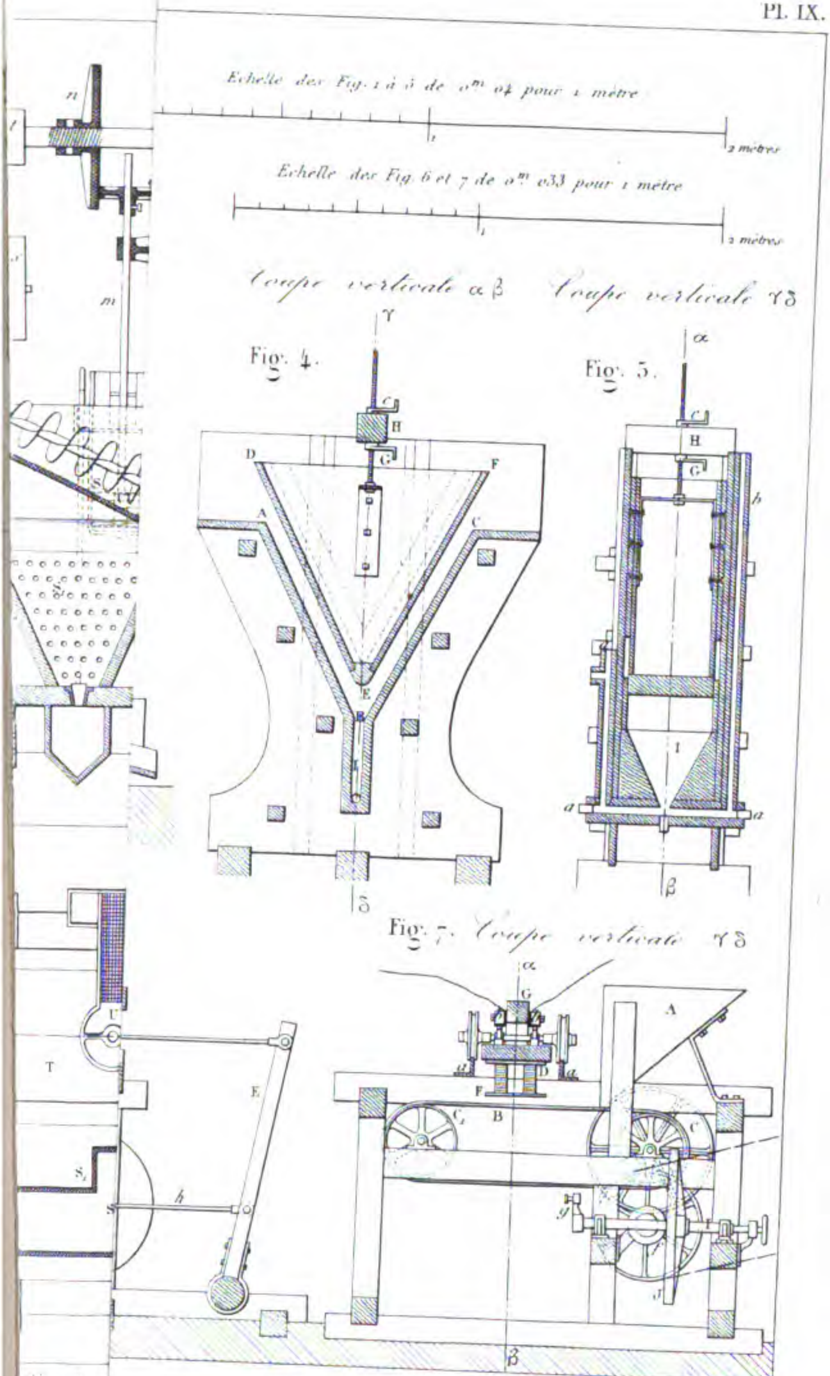
Échelle de la Fig. 9 de 0.m 01 pour 1 mètre

1 2 3 4 5 mèt.

Série Ton

Lemaitre del. et sc.

Pl. IX.



...tte, Tome

Lemaitre del. et sc.



Coupe verticale δδ

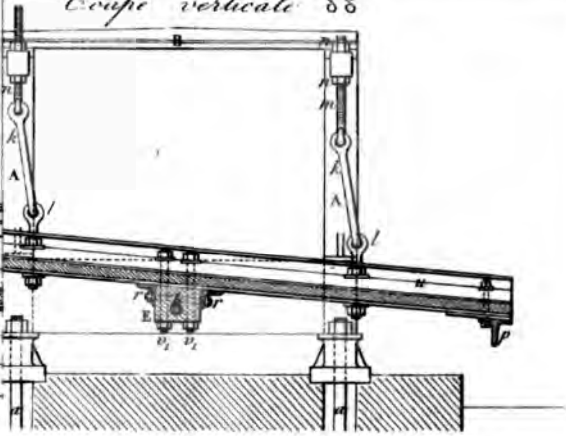


Fig. 5.

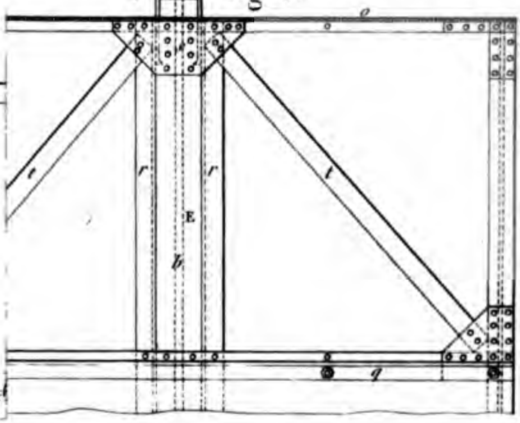
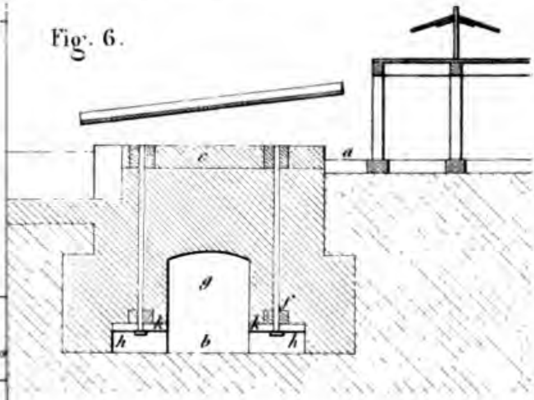


Fig. 6.



Lemaitre del et sc.



Pl. XI.

Fig. 1.

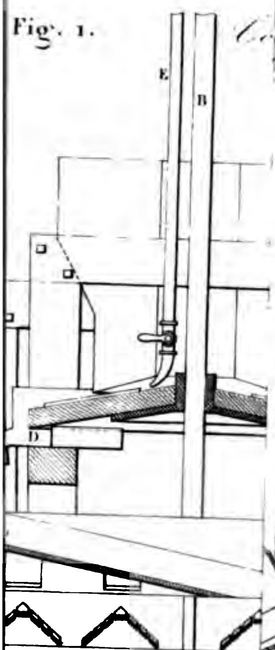


Fig. 3.

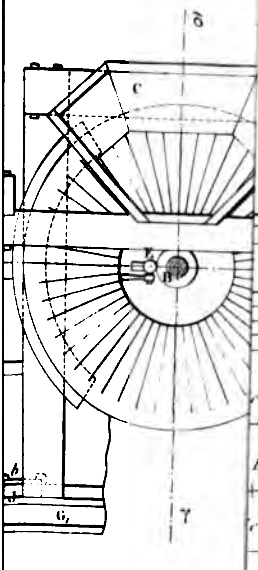


Fig. 4.

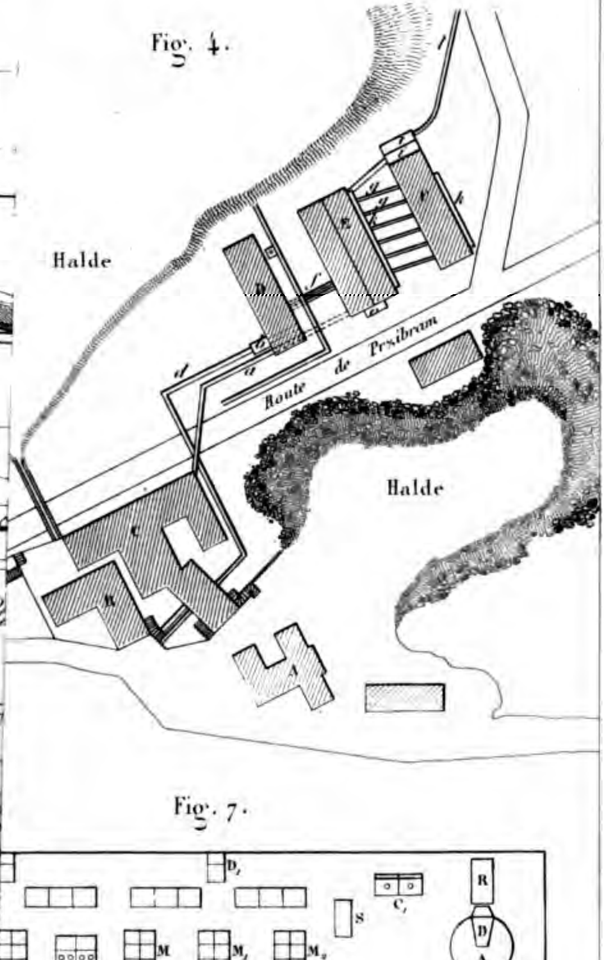
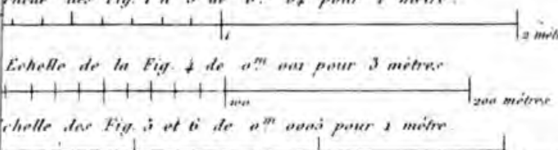


Fig. 7.



…chelle des Fig. 1 à 3 de 0m 04 pour 1 mètre.

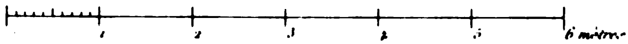
Echelle de la Fig. 4 de 0m 001 pour 3 mètres

…chelle des Fig. 5 et 6 de 0m 0005 pour 1 mètre.

…e II, pages 271 et suiv.

Lemaitre del. et sc.

Echelle de 0m 0125 pour 1 metre (1/80)



Appareil à air chaud de Bessèges.

(Fig. 5 à 6.)

Fig. 3. *Coupe horizontale par CD*

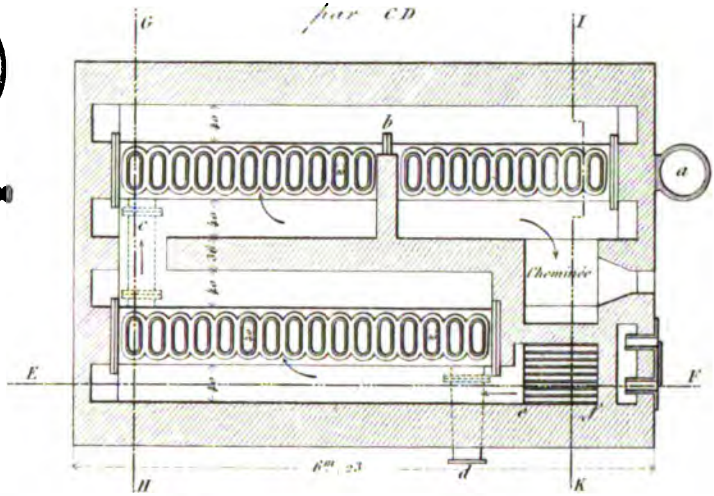
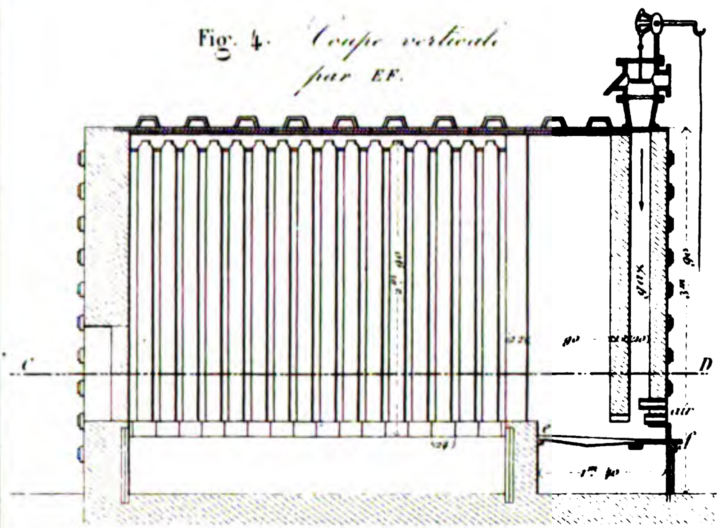


Fig. 4. *Coupe verticale par EF.*



Lemaître del. et sc.

r chaud

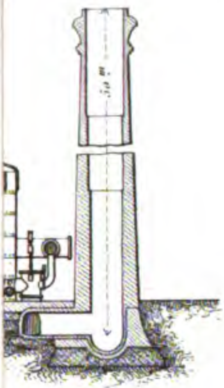


Fig. 3.

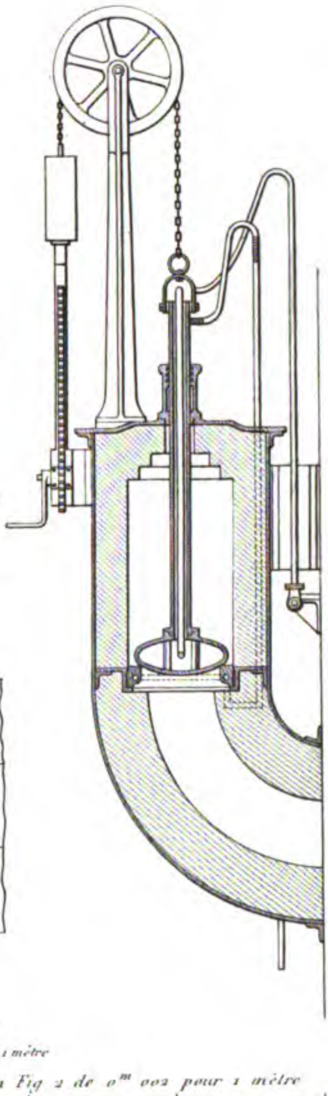
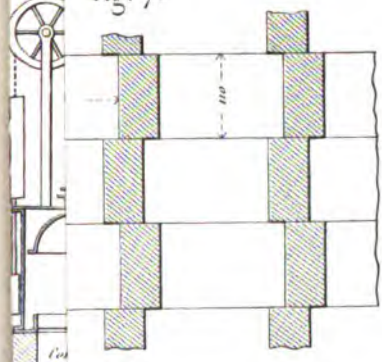


Fig. 6.



Fig. 7.



10 pour 1 mètre

0,6 0,7 0,8 0,9 1 mètre

Echelle de la Fig 2 de 0m 002 pour 1 mètre

mètres 10 20 30 mèt.

Lemaitre del. et sc.

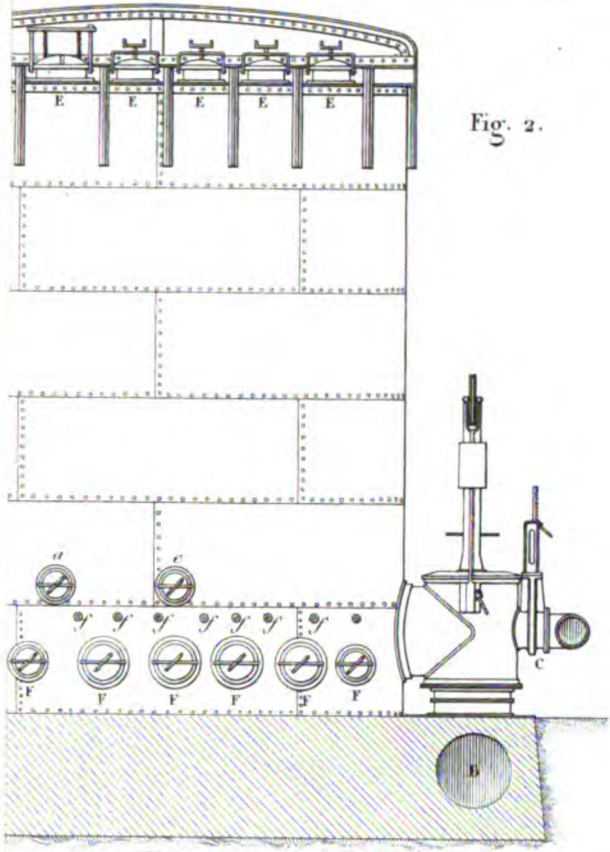


Fig. 2.

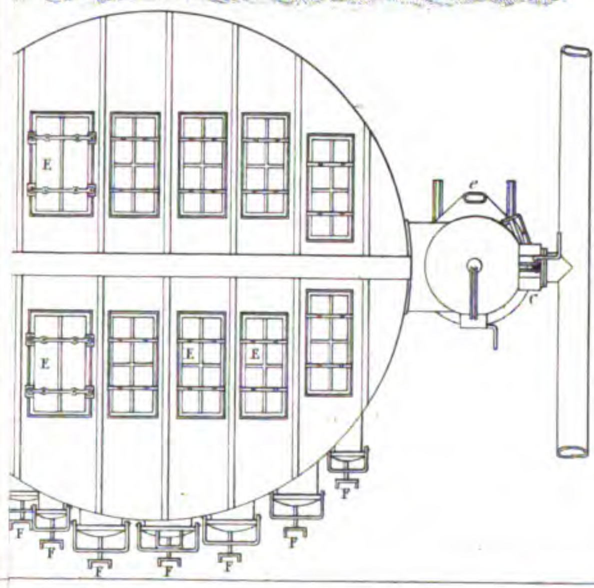
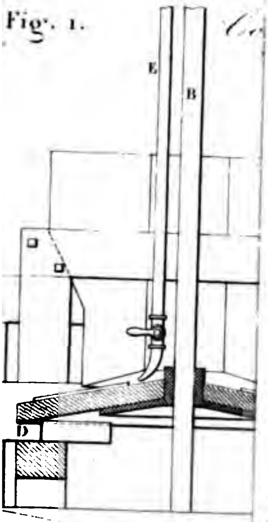


Fig. 4.

Fig. 1.



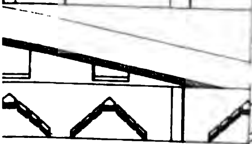


Fig. 3.

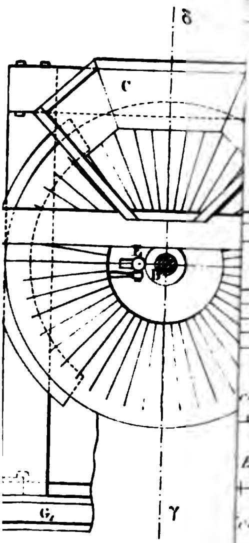


Fig. 4.

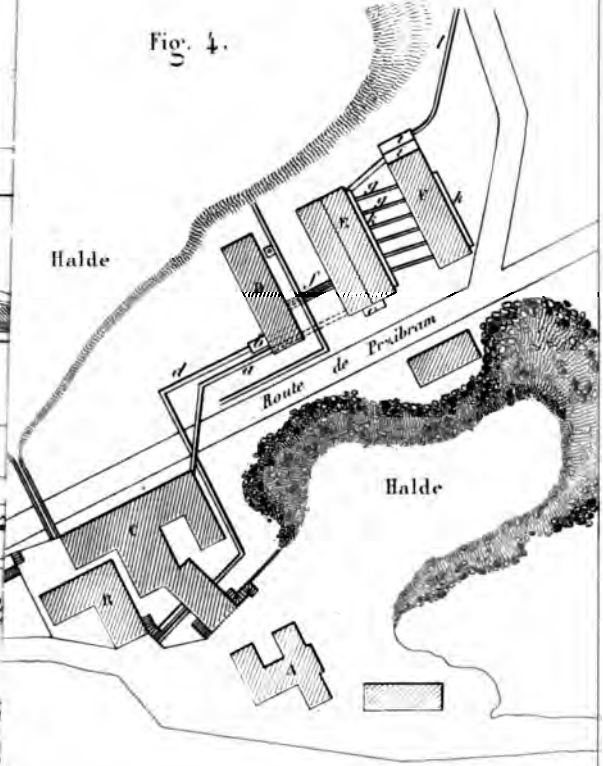
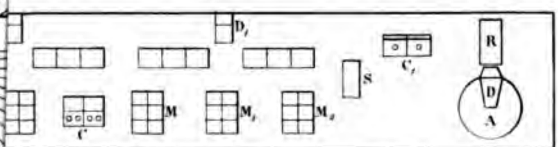


Fig. 7.



Echelle des Fig. 1 à 3 de 0m 04 pour 1 mètre.

Echelle de la Fig. 4 de 0m 001 pour 3 mètres

Echelle des Fig. 5 et 6 de 0m 0003 pour 1 mètre

II. pages 271 et suiv.

Lemaître del. et sc.

Echelle de 0m 0125 pour 1 metre (1/80)

Appareil à air chaud de Bességes.

(Fig. 3 à 6.)

Fig. 3. Coupe horizontale par CD

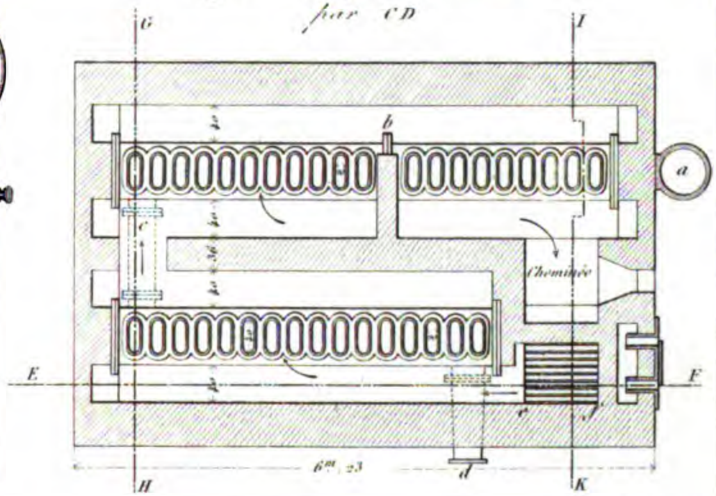
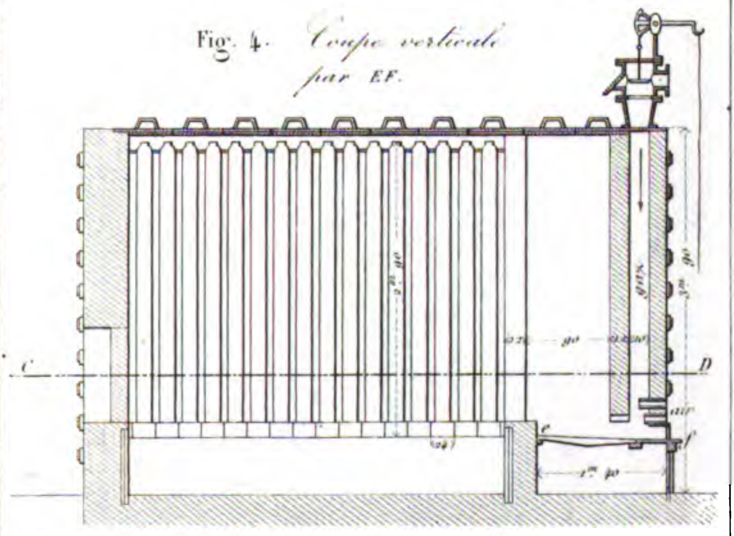


Fig. 4. Coupe verticale par EF.



Lemaitre del. et sc.

r chaud

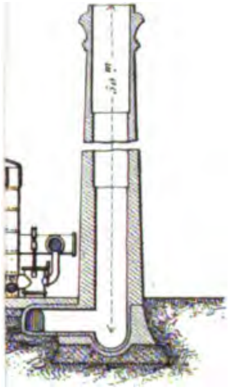


Fig. 3.

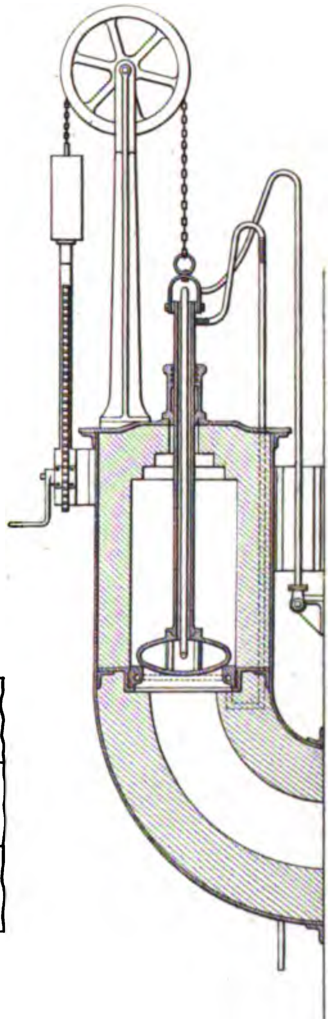


Fig. 6.

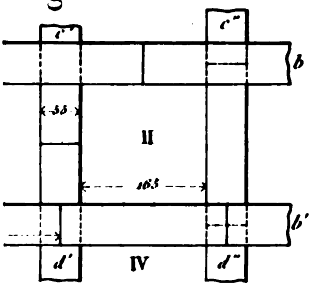
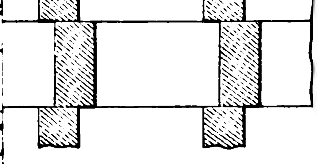


Fig. 7.





10 pour 1 mètre

0,6 — 0,7 — 0,8 — 0,9 — 1 mètre

Echelle de la Fig 2 de 0ᵐ 002 pour 1 mètre

mètres — 10 — 20 — 30 met.

des Min

Lemaitre del. et sc.

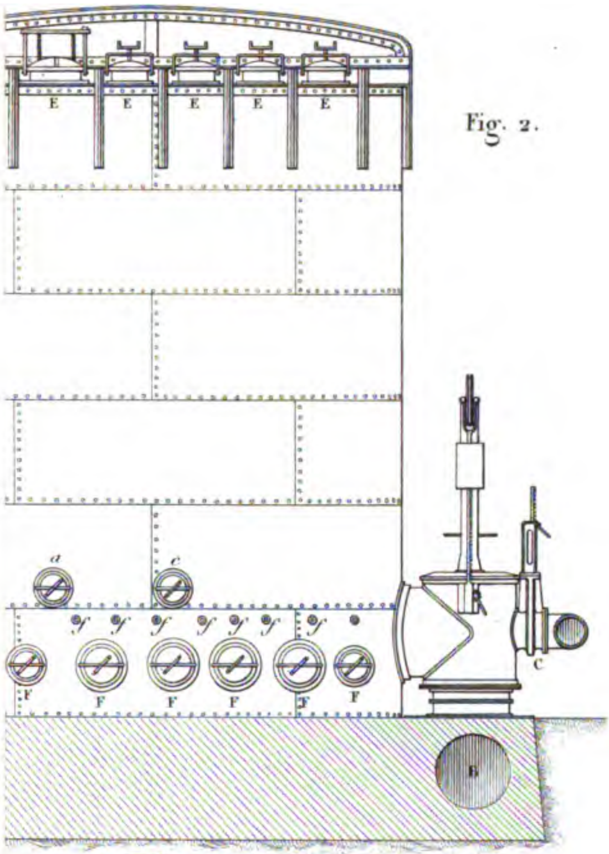


Fig. 2.

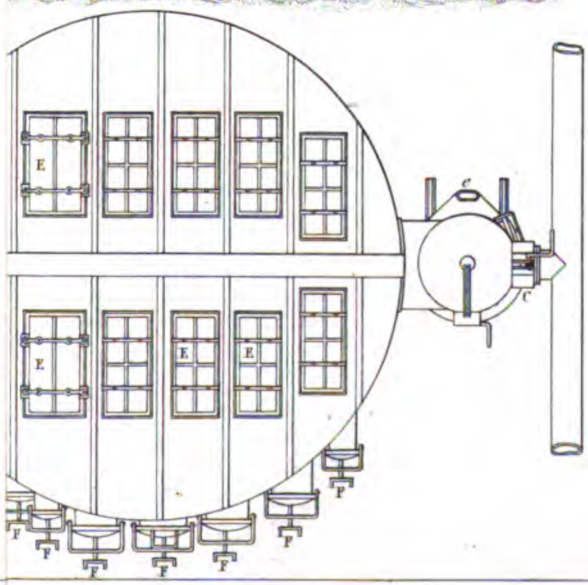


Fig. 4.